

Metsätehon raportti 206
23.6.2009

ISSN 1459-773X (Painettu)
ISSN 1796-2374 (Verkojulkaisu)



Metsänhoidon koneellistaminen

Visio ja T&K-ohjelma

Markus Strandström
Jarmo Hämäläinen
Heikki Pajuoja

Metsänhoidon koneellistaminen

Visio ja T&K-ohjelma

**Markus Strandström
Jarmo Hämäläinen
Heikki Pajuoja**

Metsätehon raportti 206
23.6.2009

ISSN 1459-773X (Painettu)
ISSN 1796-2374 (Verkkajulkaisu)

Asiasanat: metsänhoito, koneellistaminen, koneistutus, koneellinen taimikonhoito, tuottavuus, kustannukset, tutkimus, kehittäminen

© Metsäteho Oy

Helsinki 2009

SISÄLLYS

ALKUSANAT	5
TIIVISTELMÄ	6
1 JOHDANTO	8
2 KONEELLINEN METSÄNHOITO NYT	9
3 METSÄNHOITOTÖIDEN TOIMINTAYMPÄRISTÖN KEHITYSNÄKYMÄ.....	10
4 METSÄNHOIDON KONEELLISTAMISEN VISIO 2015.....	12
5 METSÄNHOITOKONEILLE ASETETTAVIA VAATIMUKSIA .	14
6 TUTKIMUS- JA KEHITTÄMISTARPEET.....	17
7 KEHITTÄMISEN HYÖDYT.....	19
8 OHJELMAN TOTEUTUS JA RAHOITUS.....	20
KIRJALLISUUTTA	21
LIITE 1 Metsänhoidon kone- ja laiteratkaisuja	
LIITE 2: Metsänhoitoketjujen kustannus- ja tuotostarkasteluja	
LIITE 3: Teknologiaselvitys: Automaation ja uuden teknologian mahdollisuudet metsänhoidon koneellistamisen näkökulmasta	
LIITE 4: Toimijakartoitus	
LIITE 5: Tutkimus- ja kehitystoiminta	

ALKUSANAT

Metsänhoidon koneet ovat yleistyneet toistaiseksi varsin hitaasti, mutta tarve kustannustehokasta puuntuotantoa tukeville metsänhoidon kone- ja laiteratkaisuille on tunnistettu laajasti alan toimijoiden keskuudessa. Tästä syystä käytännön metsäorganisaatiot, tutkimus- ja kehitystyötä tekevät tahot sekä viranomaiset ovat luoneet yhteisen vision, tavoitetilan koneellisen metsänhoidon kehittämiseksi lähivuosiksi. Vision toteuttaminen edellyttää systemaattista tutkimus- ja kehitystyötä, ja tämän ohjelman tarkoituksena on auttaa suuntaamaan T&K-panoksia.

Suuri joukko metsänhoidon toimijoita, eri tutkimustahoja sekä kone- ja laitevalmistajia on tukenut asiantuntemuksellaan ja ideoillaan niin vision kuin T&K-ohjelmankin laatimista.

Projektin ohjausryhmä on ollut seuraava:

Marja Hilska-Aaltonen	Maa- ja metsätalousministeriö
Kari Kannisto	Yksityismetsätalouden työnantajat ry
Arto Koistinen	Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio
Juho Rantala	Metsäntutkimuslaitos
Janne Soimasuo	Metsämannut Oy
Jyri Schildt	UPM Metsä

Muut työtä eri vaiheissa tukeneet henkilöt on lueteltu raportin liitteessä. Esi-tämme kaikille parhaat kiitokset arvokkaasta avusta.

Helsingissä kesäkuussa 2009

Markus Strandström
Jarmo Hämäläinen
Heikki Pajuoja

TIIVISTELMÄ

Raportissa on kuvattu metsänhoidon koneellistamisen tavoitetila – visio 2015 ja tavoitetilan kannalta keskeiset tutkimus- ja kehitystarpeet. Visio vuoteen 2015 on **koneellistamista hyödyntävä kustannustehokas puuntuotantoketju**. Tavoitteena on koneellistaa metsänhoitotöitä merkittävästi nykyistä enemmän mutta hallitusti osana kannattavaa puuntuottamista ja koneyrityksistä. Koneellistaminen ei ole itseisarvo vaan sen on tuettava kustannus- ja resurssitehokasta metsänkäsittelyketjua, edistettävä metsänhoitotöiden toteutusta ja puuntuotantoa sekä parannettava puuntuotannon kannattavuutta.

Metsänhoitotöiden konekehittämisessä ei suinkaan lähdetä liikkeelle nolatilanteesta. Metsänuudistamisen työläin vaihe, maanmuokkaus, on koneellistettu kauan sitten ja viljelytöistä kylvö suurimmaksi osaksi. Istutus ja taimikonhoito tehdään sen sijaan vielä lähes kokonaan ihmistyönä. Huomionarvoista edistystä on kuitenkin niidenkin osalta saatu viime vuosina aikaan. Laittevalmistajat ovat onnistuneet kehittämään teknisesti hyvin toimivia ratkaisuja. Niiden taloudellisessa kilpailukyvyssä on kuitenkin vielä merkittävästi parantamisen varaa.

Istutuksen koneellistamisen keskeisenä kehittämistavoitteena on työn tuottavuuden olennainen parantaminen nykyisestä. Nykyisten koneiden toiminnossa ja käytössä tulee päästä tasolle, jolla ne ovat selvästi kustannustehokkaampia kuin ihmistyö, kun varsinaiset työkuukustannukset ja organisaatiokulut otetaan huomioon. Pidemmällä aikavälillä on tavoiteltava kehityshyppäystä: sellaisia uusia teknisiä ratkaisuja, jotka mahdollistavat jatkuvatoimisen muokkauksen ja istutuksen ja sitä kautta tuottavuuden moninkertaistamisen.

Taimikonhoidon konekehittäminen kohdistuu kahteen koneellistamisedellytyksiltään erilaiseen vaiheeseen, taimikoiden varhaishoitoon ja varttuneiden taimikoiden harvennukseen. Molemmissa hoitovaiheissa miestyönä tehtävä raivaussahatyö on tällä erää vahva kilpailija nykyisille koneille. Konetyön tuottavuutta ja kustannuskilpailukykyä on kyettävä kohentamaan tuntuvasti itse laitteita sekä kuljettajan työtä tukevia automaattoratkaisuja kehittämällä. Myös puuntuottamisen nykyisten reunaehtojen merkitystä etenkin varttuneen taimikon käsittelyn koneellistamiselle on syytä tarkastella kriittisesti.

Uudistusalan raivaus ja ensiharvennuskohteiden ennakkoraivaus ovat myös merkittäviä työlajeja, jotka tehdään nykyään raivaussahatyönä. Ensiharvennusmetsien osuus hakkuupotentiaalista on kasvamassa, ja ennakkoraivaamisen merkitys korostuu kannattavan ensiharvennuksen edellytyksenä. Raivausten toteutukseen kaivataan uusia, hakkuuseen yhdistettyjä tai erillisiä, teknisiä ratkaisuja.

Työlajikohtaisen rationalisoinnin ohella on kasvatusketjussa tavoiteltava myös uudenlaisia resursseja säästäviä toimintamalleja ja eri työlajien yhdistelmiä. Puuraaka-aineen käytön monipuolistuminen avaa siihen uusia mahdollisuuksia.

Metsäpoliittisilla toimenpiteillä voidaan edesauttaa vision saavuttamista. Kestävän metsätalouden rahoitustukea on tarpeen kehittää siihen suuntaan, että se kannustaa entistä voimakkaammin koko kasvatusketjun huomioon ottavaan hyvään metsänhoitoon. Metsätalouden käsittely-yksiköiden eli tila- ja kuviokoon kasvattaminen on tärkeää metsänhoidon kannattavuuden ja koneellistamisen kannalta.

Vision toteuttaminen edellyttää määrätietoista ja laajamittaista eri toimijoiden kehittämistyötä. Tärkeimmät tutkimus- ja kehittämistehtävät ovat:

Nykyisten koneiden kehittäminen ja käytön laajentaminen

- Nykyisten koneiden evaluointi ja kehittämismahdollisuuksien arviointi
- Konetyön parhaiden käytäntöjen kartoitus, koulutusmateriaalin koostaminen ja kurssitoiminnan kehittäminen
- Koneellisen metsänhoitotyön liiketoimintamallien kehittäminen
- Alueelliset pilottihankkeet koneiden käytön laajentamiseksi
- Taimituotannon ja koneellisen istutuksen yhteensopivuuden kehittäminen

Uusien kone- ja laiteratkaisujen rakentamisen edistäminen

- Automaation ja uuden teknologian mahdollisuuksien tutkiminen
- Kone- ja laitekehitystarpeiden viestintä ja ideoinnin aktivointi
- Prototyyppi-koneiden rakentamisen tuki
- Uusien koneiden tuottavuus-, kustannus- ja työjälkitarkastelut
- Selvitys eri alustakonetyyppien kustannuskilpailukyvyistä ja toimintaedellytyksistä metsämaastossa
- Eri työläjien yhdistämisen edellytysten tarkastelu

Koneellistamisen puuntuotannollisten reunaehtojen tarkistaminen

- Eri käsittelyvaihtoehtojen puuntuotannollisen merkityksen tarkastelu
- Lehtipuiden juurineen noston ("kitkemisen") merkitys kasvatusketjussa
- Eri muokkausvaihtoehtojen ja kannon noston vaikutus taimikonhoitotarpeeseen
- Biologiset ja kemialliset keinot vesakon torjunnassa

Metsänhoitotöiden tietojärjestelmien kehittäminen

- Työn omavalvontaa ja raportointia sekä kasvatusketjun hallintaa tukevien järjestelmien määrittely
- Standardisointi sekä rajapintojen ja yhteensopivuusvaatimusten määrittely alan muihin tietojärjestelmiin nähden
- Sovellusten rakentaminen

Osa luetelluista tehtävistä on käynnissä Metsäntutkimuslaitoksessa ja muissa tutkimusorganisaatioissa. Tutkimuksen painopisteen on tarpeen olla täysin uusien konekonseptien hakemisessa ja sitä tukevassa, kehityshyppäykseen tähtäävässä työssä. Sen rinnalla on tuettava voimakkaasti nykyisten koneratkaisujen edelleen kehittämistä ja käyttöönottoa. Kehittämistyön jatku-

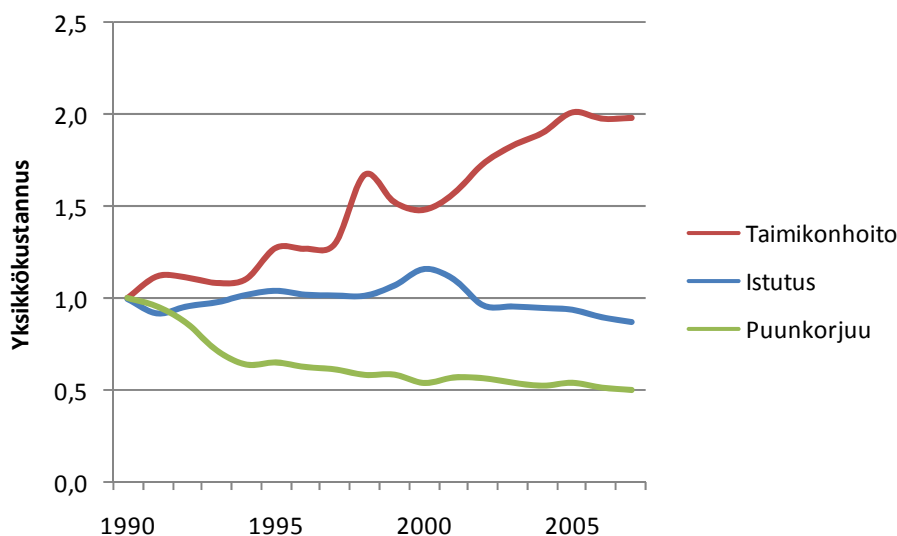
vuuden varmistamiseksi ja suuntaamisen tueksi on tarpeen perustaa valtakunnallinen seurantaryhmä.

1 JOHDANTO

Eri metsätaloustoimenpiteiden pitkän aikavälin kustannus- ja tuottavuuskehityksessä on suuria eroja. Puunkorjuun koneellistuminen ja kehittyneen teknologian hyödyntäminen ovat alentaneet korjuukustannuksia ja nostaneet työn tuottavuutta. Metsänhoitotyöt sitä vastoin on tehty pitkään melko vakiintunein miesvaltaisain menetelmin eikä vastaavanlaiseen kehitykseen ole ylletty (kuva 1).

Metsänhoitotöiden koneellistuminen on ollut hidasta ja keskittynyt lähinnä metsäteollisuusyritysten ja suurten metsätalousyritysten maille. Valtakunnan tasolla vasta 2 - 3 % istutuksista tehdään koneellisesti ja taimikonhoidossa osuus on tätäkin pienempi.

Koneellisia ratkaisuja on tutkittu ja kehitetty 1970-luvulta lähtien, mutta työ on ollut osin sirpaleista ja yksittäisten toimijoiden varassa. Huolimatta eräistä uusista ja melko lupaavista ratkaisuista on kilpailevia kone- ja laiteratkaisuja edelleen niukasti.



KUVA 1. Metsänhoidon ja puunkorjuun reaalisten yksikkökustannusten kehitys. Istutuksen ja taimikonhoidon yksikkökustannukset on oikaistu tukkuhintaindeksillä (1990 = 100) ja puunkorjuun yksikkökustannukset metsäalan konekustannusindeksillä (1990 = 100). Istutus sisältää taimikustannuksen (Lähde: Metsätilastollinen vuosikirja 2008).

Koneellistumista on hidastanut mm. se, että työvoimaa istutus- ja taimikonhoitotyöhön on ollut toistaiseksi saatavilla. Konetyöllä ei myöskään ole ollut selvää kustannuskilpailukykyä suhteessa miestyöhön. Lisäksi osa metsäammattilaisista ja metsänomistajista suhtautuu koneelliseen metsänhoitoon yhä ennakkoluuloisesti tai vastentahtoisesti. Kone- ja laitevalmistajien kiin-

nostus on myös kohdistunut enemmän puunkorjuun kuin metsänhoidon kone- ja laiteratkaisuiden kehittämiseen, koska metsänhoitotöiden laitteiden markkinat on nähty niin pieniksi.

Metsänhoidon koneellistamisessa on tarpeen hakea selkeää kehityshyppäystä, jolla voidaan alentaa metsänhoidon kustannuksia sekä toisaalta turvata työvoiman riittävyys ja saatavuus.

Asiaan on kiinnitetty huomiota kansallisessa metsäohjelmassa (KMO 2015), joka sisältää esityksen edistää koneellisten metsänkäsittelymenetelmien kehittämistä ja käyttöönottoa. Myös metsäteollisuuden ja metsäsektorin toimintaedellytystyöryhmä on esittänyt raportissaan, että tutkimus- ja kehitysrahoitusta tulisi ohjata metsänhoidon koneellistamisen kehittämiseen.

Tämän tutkimus- ja kehitysohjelman tarkoituksena on kuvata metsänhoidon koneellistamisen visio 2015 sekä keskeisimmät tutkimus- ja kehittämistarpeet tuohon tavoitetilään pääsemiseksi. Tavoitteena on luoda kehys, joka auttaa suuntaamaan T&K-panoksia tulosten hyödyntäjien kannalta tarkoituksenmukaiseen suuntaan ja antamaan puitteet alan tuotekehitykselle.

Vision toteuttaminen edellyttää määrätietoista tutkimus- ja kehitystyötä, jossa tuotetaan tutkimustietoa uusien kone- ja laiteratkaisujen käytön perustaksi sekä kehitetään kaupallisia tuotteita. Tämä edellyttää tiivistä yhteistyötä alan toimijoiden kesken, joita ovat metsäteollisuus- ja metsätalousyrietykset, yksityismetsätalouden organisaatiot, tutkimusorganisaatiot sekä alan kone- ja laitevalmistajat.

2 KONEELLINEN METSÄNHOITO NYT

Metsänhoitotöistä ainoastaan maanmuokkaus on toistaiseksi täysin koneellistettu. Myös suuri osa kylvöstä (70 %) tehdään koneellisesti maanmuokkauksen yhteydessä. Istutuksista sitä vastoin vain 2 - 3 % tehdään koneellisesti ja taimikonhoidossa osuus on tätäkin pienempi. Eräiden metsätalous- ja metsäteollisuusyritysten mailla istutuksista kuitenkin tehdään koneellisesti jo 20 - 30 %.

Maanmuokkauksesta valtaosa 44 % on mätästystä, äestyksen osuus on 34 % ja laikutuksen 18 %, loppu on muuta maanmuokkausta (Metsätilastollinen vuosikirja 2008). Kuusen uudistusalat tavallisesti mätästetään, koska kuusi istutetaan mättääseen. Kiviset kuusen uudistusalat tai alan osat laikutetaan.

Äkeiden ja laikkureiden vetokoneena käytetään kuormatraktoreita. Mätästystä ja laikutusta tehdään kauhalla tai muokkauslevyllä varustetuilla kaivukoneilla. Myös istutuksessa alustakoneena on tavallisesti kaivukone. Koneellisessa taimikonhoidossa alustakoneena on hakkuukone. Sen paremmin istutukseen kuin taimikonhoitoonkaan ei ole toistaiseksi suunniteltu kyseisiin töihin soveltuvaa erikoiskonetta tai metsänhoidon yleiskonetta.

Suomessa on käytössä kaikkiaan noin 30 istutuskonetta. Bräcke ja M-Planter ovat yleisimmät istutuslaitteet. Taimikonhoitoa tehdään noin 15 koneella. Yleisimpiä laiteita ovat Naarvan kitkevä reikäperkaaja, Mensen rai-vauspäät ja Risutecin taimikonhoitolaitteet. Istutuksen ja taimikonhoidon kone- ja laiteratkaisuja kuvataan tarkemmin liitteessä 1.

3 METSÄNHOITOTÖIDEN TOIMINTAYMPÄRISTÖN KEHITYSNÄKYMÄ

Metsätalouden toimintaympäristössä on tapahtumassa muutoksia, jotka vaikuttavat metsänhoitotöiden kehittämistarpeisiin ja -edellytyksiin. Osa muutoksista juontaa juurensa metsäsektorin ulkopuolisista seikoista, osa metsäalan sisäisistä kehitystrendeistä. Seuraavassa tarkastellaan muutosnäkymiä, joilla todennäköisesti on heijastusvaikutuksia metsänhoitotöiden kehittämiseen.

Ilmastonmuutos on pääosiltaan pidemmän aikavälin kuin tämän tarkastelujakson muutosvoima vaikuttaen aikaa myöten etenkin puuston kasvuedellytyksiin ja sitä myöten metsien käsittelyperiaatteisiin. Lyhyen aikavälin välillinen vaikutus on kuitenkin puun energiakäytön lisääntyminen uusiutuvan energian käytön kasvutavoitteiden takia. Hakkuutähteiden ja kantojen korjuu vaikuttaa metsänuudistamisen koneellistamisedellytyksiin ja nuorista metsistä tapahtuva energiapuun korjuu puolestaan kasvatusketjuihin ja taimikonhoidon koneellistamiseen. Leutojen talvien yleistyminen puolestaan voimistaa puunhankinnan kausivaihtelua ja kaluston vajaakäyttöä. Metsänhoitotöiden koneellistaminen voisi antaa edellytyksiä kausivaihtelun tasaimiseen koneyritysten näkökulmasta.

Puuhuollon **infrastruktuurin** ylläpito vaatii erityishuomiota väen vähetessä haja-asutusalueilta. Tiestön kunto, etenkin ympärivuotinen liikennöitävyys on puuhuollon perusedellytyksiä, jolle leutojen talvien yleistyminen tuo lisähaasteita. Myös asianmukaisten tietoliikenneyhteyksien ulottuminen syrjäseuduillekin on olennaista. Väestön keskittyminen asutuskeskuksiin riisuu palveluja haja-asutusalueilta ja vaikuttaa metsätöitä tekevien yritysten ja työntekijöiden toimintaedellytyksiin.

Metsien käyttöä olisi hakkuumahdollisuuksien puolesta mahdollisuus lisätä tuntuvasti ja kotimaisen raakapuun käyttö lisääntyneekin nykyisestä. Kehittämispaineita kohdistuu erityisesti kalleimpien raaka-aine-erien kuten harvennuspuiden ja turvemaiden korjattavan puun kustannustehokkuuden parantamiseen. Energiapuun käyttö keskittyy hakkuutähteisiin, kantoihin ja pienpuuhun.

Virkistys- ja luontomatkailun rooli metsien käytössä on kasvamaan päin. Se saattaa tuoda tullessaan lisähaasteita metsien käsittelylle (maisema, työn jälki), mutta toisaalta voi avata mahdollisuuksia uudenlaisiin yrittäjätoiminnan yhdistelmiin, joilla on heijastuksia metsänhoitotöihin.

Metsänomistuksen rakenne muuttuu. Keskeisimpiä muutostrendejä ovat metsänomistajien ikääntyminen, muiden kuin maatilametsänomistajien osuuden kasvaminen sekä kaupunkilaismetsänomistajien ja naisten osuuden lisääntyminen. Muutokset ovat omiaan vahvistamaan niin fyysisistä kuin henkistäkin etääntymistä metsätaloudesta ja siihen kuuluvista töistä.

Metsätalouden organisaatiot ohenevat ja ilmeisesti myös vähenevät ainakin perinteisessä metsätalouden toimijajoukossa. Yrittäjäpohjainen palvelujen tarjonta on sitä vastoin laajenemassa ja edellytykset kytkeä perinteisiä metsätalouden työlajeja uusiin paranemassa.

Metsätalouden työvoiman tarve kasvaa nykyisestä kotimaisen aines- ja energiapuun hankinnan lisääntymisen takia. Alan houkuttelevuus työpaikana pitäisi pystyä ylläpitämään. Metsäalan imago ei ole tällä erää korkealla tasolla alan kannattavuusongelmien ja sen seurannaisvaikutusten takia. Ammattitaitoisesta työvoimasta tulee todennäköisesti olemaan niukkuutta, mikä vaikuttanee töiden kustannustasoon ja sen seurauksena kone- ja ihmistyön keskinäiseen edullisuuteen.

Puuntuottamisen kannattavuus on ainakin lyhyellä aikavälillä heikkenevässä laskussa olevien kantohintojen ja päin vastaiseen suuntaan kehittyvien työ- ja materiaalikustannusten takia. Metsänhoitoketjun kokonaiskannattavuutta parantavien uusien toimintamallien ja menetelmien löytäminen on entistä tarpeellisempaa.

Metsänhoidon periaatteissa ei ole lähivuosina näköpiirissä ratkaisevia muutoksia. Puuntuottamisen kannattavuutta tärkeänä pitävät metsänomistajat satsaavat jatkossakin varmaan uudistamiseen ja koko kasvatusketjun hallintaan. Jälkitöiden resurssitarve pyritään minimoimaan panostamalla korkeaan taimien eloonjääntiin, taimikon nopeaan alkukehitykseen sekä taimikonhoidon oikeaan ajoitukseen. Kiertoaikoja lyhennetään ja lisätuottoja haetaan lannoituksilla ja ojien ja tieverkon kunnossapidolla. Kiertoaikojen lyhenemisestä seuraa samalla vuotuisten uudistamis- ja alojen eli työmäärien kasvu.

Turvemaiden rooli metsien käsittelyssä on lisääntymässä ja niiden erityspiirteet joudutaan ottamaan huomioon uudistamisessa ja muissa metsänhoitotöissä.

Yksittäisten puiden poimintaan perustuvan jatkuvan kasvatuksen soveltamisedellytykset ovat tutkimuksen ja keskustelun alaisena.

Osa metsänomistajista jättää metsänhoitotyöt vähemmälle huomiolle, joten rästejä uudistamisessa sekä taimikoiden ja nuorten metsien hoidossa on odotettavissa jatkossakin. Metsänomistajarakenteen muutos – etääntyminen metsistä – tuo tässä suhteessa lisähaasteita neuvonta- ja palveluorganisaatioille.

Kotimaisen aines- ja energiapuun hankintamäärien noustessa **puunhankintayrittäjien palveluvalikoima** laajenee, ja yrittäjien rooli kasvaa myös met-

sänhoitotöissä. Nuorissa metsissä valtaa alaa integroitu aines- ja energia-puun korjuu ja kantojen ja hakkuutähteiden korjuu tulee osaksi yhä useamman yrittäjän työnkuvaa. Harvennushakkuiden ja turvemaiden osuus hakkuista kasvaa. Kausivaihtelu uhkaa voimistua leutojen talvien takia.

Uusi teknologia tarjoaa mahdollisuuksia myös metsänhoitotöihin. Muilla aloilla ja metsäteollisuuden tuotantoprosesseissa esimerkiksi konenäköön ja automatisointiin perustuvat uudet ratkaisut ovat parantaneet prosessien kustannustehokkuutta ja mahdollistaneet uusien toimintamallien käyttöönoton. Metsätaloudenkin puolella on jo pitkän hyödynnetty esim. kaukokartoitusta ja paikkatietojärjestelmiä. Hakkuukoneiden tietojärjestelmät ovat pitkälle kehitettyjä, puunkorjuun ja kuljetuksen tietosisältöjä on standardisoitu ja puutavaran mittaukseen on kehitetty automaattisia menetelmiä. Metsänhoitotöiden puolella uutta teknologiaan ja tietojärjestelmien antamia mahdollisuuksia on hyödynnetty varsin vähän. On ilmeistä että niiden avulla pystyttäisiin tehostamaan niin koneellisia kuin manuaalisestikin tehtäviä töitä. Lisäksi bioteknologia – esimerkkinä vesoittumisen esto purppuranahakkasien avulla – saattaa avata uusia mahdollisuuksia.

Ympäristönäkökohtien huomioon ottaminen metsätaloudessa on jatkossakin tärkeää. On odotettavissa, että ”low impact forestry” -ajattelu vahvistuu nykyisestä ja heijastunee myös metsänhoidon menetelmiin ja eri työläjien työjälkiödotuksiin. Kyse on siitä, miltä jälki ”näyttää” metsänomistajan tai tavallisen kansalaisen näkökulmasta. Tämä puoltaa mm. sellaisia kasvatusketjuja ja työmenetelmiä, joilla päästään mahdollisimman vähillä käyntikerroilla kullakin kohteella.

4 METSÄNHOIDON KONEELLISTAMISEN VISIO 2015

Visio eli tavoitetila vuonna 2015 on **Koneellistamista hyödyntävä kustannustehokas puuntuotantoketju**. Tavoitteena on koneellistaa metsänhoitotöitä merkittävästi nykyistä enemmän mutta hallitusti osana kannattavaa puuntuottamista ja koneyritymistä. Koneellistaminen ei ole itseisarvo vaan sen on tuettava kustannus- ja resurssitehokasta metsänkäsittelyketjua, edistettävä metsänhoitotöiden toteutusta ja puuntuotantoa sekä parannettava puuntuotannon kannattavuutta.

Vision lähtökohtana on uudistamis- ja käsittelyketjun hallinta siten, että toimenpiteet tehdään kasvupaikan vaatimusten mukaan hyvin ja ajallaan niin, että minimoidaan jälkihoitotarve sekä epäonnistuneiden taimikoiden ja käsittelyrästien määrä. Pää tavoitteena ei ole koneiden tai menetelmien kehittäminen huonosti hoidettujen rästikohteiden käsittelyyn, mutta myös niiden hoitoa pyritään tukemaan.

Työmäärältään merkittävimmät kehittämiskohteet ovat istutus ja taimikonhoito (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Metsänhoitotöiden arvioidut työmäärät ja tavoitteellinen koneellistamisaste vuonna 2015. Tavoite ja potentiaaliarvio on esitetty vain tämän ohjelman kannalta keskeisimmille työlajeille. Istutus- ja taimikonhoitotyömaiden pinta-alasta 10 % on arvioitu maasto-olosuhteiltaan koneistamisen kannalta liian vaikeiksi. Teknisesti toimivat ja tuottavuudeltaan kilpailukykyiset taimikonhoitokoneet soveltuvat myös uudistusalan raivaukseen.

	ha	Henkilöresurssi		Koneellistamisaste, %		Tekninen potentiaali, %
		mtpv		2008	2015	
Uudistusalan raivaus	68 000	31 000		0		
Hakkuutähteiden korjuu	80 000	44 000		100		
Kantojen korjuu	45 000	121 000		100		
Maanmuokkaus	124 000	62 000		100		
Metsänuudistaminen	156 000	162 000				
- istutus	86 000	155 000	2 - 3	30	90	
- mänty	27 000	54 000				
- kuusi	52 000	87 000				
- muu	7 000	14 000				
- kylvö	33 000	7 000	70			
- luontainen	37 000					
Taimikonhoito	138 000	197 000	< 1	20	90	
Nuoren metsän kunnostus	86 000	172 000	*			
Ennakkoraivaus	25 000	42 000	0			

* Osa nuoren metsän kunnostuksista tehdään jo koneellisesti yhdistettynä aines- ja energia-puun korjuuna. Nuorten metsien käsittely on kasvava työlaji, jossa myös konetyön osuus tulee lisääntymään.

Istutuksen koneellistamisen keskeisenä kehittämistavoitteena on työn tuottavuuden olennainen parantaminen nykyisestä. Nykyisten koneiden toiminoissa ja käytössä tulee päästä tasolle, jolla ne ovat selvästi kustannustehokkaampia kuin ihmistyö, kun varsinaiset työkustannukset ja organisaatiokulut otetaan huomioon. Pidemmällä aikavälillä on tavoiteltava kehityshyppäystä: sellaisia uusia teknisiä ratkaisuja, jotka mahdollistavat jatkuvatoimisen muokkauksen ja istutuksen ja sitä kautta tuottavuuden moninkertaistamisen.

Taimikonhoidon konekehittely kohdistuu kahteen koneellistamisedellytyksiltään erilaiseen vaiheeseen, taimikoiden varhaishoitoon ja varttuneiden taimikoiden harvennukseen. Molemmissa hoitovaiheissa miestyönä tehtävä raivaussahatyö on tällä erää vahva kilpailija nykyisille koneille. Konetyön tuottavuutta ja kustannuskilpailukykyä on kyettävä kohentamaan tuntuvasti itse laitteita sekä kuljettajan työtä tukevia automaattoratkaisuja kehittämällä. Myös puuntuottamisen nykyisten reunaehtojen merkitystä etenkin varttuneen taimikon käsittelyn koneellistamiselle on syytä tarkastella kriittisesti (esim. tilajärjestys ja ajourat sekä työn laatuvaatimukset).

Uudistusalan raivaus ja ensiharvennuskohteiden ennakkoraivaus ovat myös merkittäviä työlajeja, jotka tehdään nykyään raivaussahatyönä. Ensiharvennusmetsien osuus hakkuupotentiaalista on kasvamassa, ja ennakkoraivauksen merkitys korostuu kannattavan ensiharvennuksen edellytyksenä. Raivausten toteutukseen kaivataan uusia, hakkuuseen yhdistettyjä tai erillisiä, teknisiä ratkaisuja.

Työlajikohtaisen rationalisoinnin ohella on kasvatuketjussa tavoiteltava myös uudenlaisia resursseja säästäviä toimintamalleja ja eri työlajien yhdistelmiä. Puuraaka-aineen käytön monipuolistuminen avaa siihen uusia mahdollisuuksia.

Metsäpoliittisilla toimenpiteillä voidaan edesauttaa vision saavuttamista. Kestävän metsätalouden rahoitustukea on tarpeen kehittää siihen suuntaan, että se kannustaa entistä voimakkaammin koko kasvatuketjun huomioon ottavaan hyvään metsänhoitoon. Metsätalouden käsittely-yksiköiden eli tilaja kuviokoon kasvattaminen on tärkeää metsänhoidon kannattavuuden ja koneellistamisen kannalta.

5 METSÄNHOITOKONEILLE ASETETTAVIA VAATIMUKSIA

Harstela (2006) on jäsentänyt konekehittelyn periaatteita puunkorjuun koneellistamista esimerkkinä käyttäen seuraavasti. ”Ihmistyölle hakkuukoneiden kehittelyn eri vaiheissa pärjäisivät seuraavilla toimintaperiaatteilla tai kilpailukeinoilla varustetut koneet:

1. Kone tekee työn selvästi ihmistä nopeammin
2. Kone tekee useita työvaiheita tai töitä samanaikaisesti tai niitä limittäen
3. Kone käsittelee useita työkohteita (esim. puita) kerrallaan
4. Jotkut työvaiheet on automatisoitu
5. Sykeperiaate on korvattu jatkuvatoimisuudella (esim. puun rullasyöttö harvesterissa)
6. Koneen hinta on oikeassa suhteessa tuottavuuteen ja vuotuisen käyttömäärään (liian monimutkainen kone on usein liian kallis tietyssä kehitysvaiheessa)
7. Koneen tekninen käyttöaste eli luotettavuus on riittävän hyvä (liian monimutkainen kone on usein liian häiriöaltis kehityksen alkuvaiheessa)
8. Työn laatu on riittävän hyvää.”

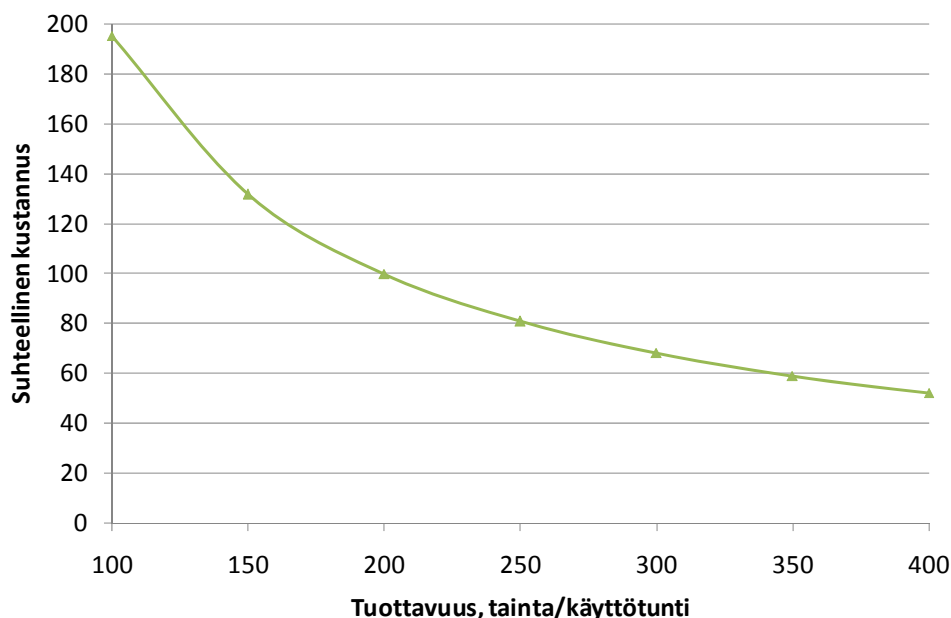
Joitain näistä toimintaperiaatteista on sovellettu myös tähänastisissa metsänhoitokoneissa. Esimerkiksi nykyisissä istutuskoneissa on yleensä yhdistetty maanmuokkaus- ja istutusvaiheet 2. periaatteen mukaisesti, 4. ja 5. periaatettakin pyrittiin tämän lisäksi soveltamaan aiemmissa Serla- ja Silva Nova -koneissa. Taimikonhoitokoneissa on puolestaan pyritty useiden puiden joukkokäsittelyyn 3. periaatteen mukaisesti.

Nykyisin käytössä olevien istutus- ja taimikonhoitokoneiden keskeisin akilleen kantapää on tuottavuus. Kaivukonepohjaisilla istutuskoneilla tulisi päästä vähintään 200 taimen käyttötuntituotokseen, jotta päästäisiin edes samalle tasolle erillisen maanmuokkauksen ja putki-istutuksen kanssa (kuva 2). Siihen on päästy lyhytaikaisissa aikatutkimuksissa, mutta ei toistaiseksi pidempiaikaista käytännön työtä vastaavissa seurannoissa. Kun lopullisena tavoitteena on parantaa merkittävästi puuntuottamisen kannattavuutta, pitäisi tuottavuus saada nousemaan ratkaisevasti nykyisestä tasosta. Uudentyypp-

ripsiä, jatkuvatoimisia ratkaisuja todella tarvitaan. Todettakoon, että työvoimantarvetta saadaan jo jossain määrin säästettyä nykyiselläkin tuottavuustasolla, koska erillistä maanmuokkausvaihetta ei tarvita.

Koneiden pääomakustannuksilla on suuri merkitys kustannustasoon. Niiden osuus tuntikustannuksista on neljänneksen-viidenneksen luokkaa. Alustakoneet tulee sen tähden välttämättä saada työllistettyä ympärivuotisesti ja luonnollisesti myös istutus- ja taimikonhoitolaitteiden vuotuinen käyttöaika tulee olla mahdollisimman pitkä. Koneiden vajaakäyttö lisää kustannuksia hyvin jyrkästi (ks. liite 2). Tavoitteena on niin ikään perusteltua olla monivuorotyö, mikäli työskentelyolosuhteet sen suinkin sallivat.

Koneyrityksen kannalta metsänhoitokoneet antavat mahdollisuuksia kohen-
taa alustakoneiden työllisyyttä puunkorjuuseisokkien aikana ja parantaa siten liiketoiminnan kannattavuutta.



KUVA 2. Laskelma koneellisen istutuksen kustannuksista tuottavuuden mukaan. Lähtökohtana kaivukonealustainen kohoumamuokkautta tekevä istutuskone. Alustakoneen hinta 135 000 € ja istutuslaitteen 55 000 €. Alustakoneelle oletettu ympärivuotinen työllisyys ja istutuslaitteelle 5 kk:n työkausi. 100-taso vastaa erillisen kohoumamuokkauksen ja pottiputki-istutuksen kustannuksia.

Raivaussahatyönä tehtävän taimikonhoidon tuottavuus riippuu voimakkaasti kaadettavien puiden määrästä ja järeydestä. Taimikonhoitokoneiden tuottavuustavoite muuttuu vastaavasti olosuhteiden mukaan (taulukko 2). Tässäkin tapauksessa tavoiteluku kuvaa minimiä, jolla päästään samalle tasolle ihmistyön kanssa. Tyypillisissä olosuhteissa minimitaso on 1,5–3 hehtaaria työvuoroa kohti. Tähänastisissa kokeiluissa on päästy lupaavasti noin 1,2–1,5 hehtaarin tuotoksiin työvuoroa kohtia. Kustannus- ja työvoimasäästöjen aikaansaamiseksi pitäisi tulevaisuudessa kuitenkin päästä selvästi paremmalle tasolle.

TAULUKKO 2. Laskelma koneellisen taimikon perkauksen tuottavuuden minimitavoitteista. Laskennan lähtökohtana ovat Metsäalan työehtosopimuksen liitteenä olevan koulutusaineiston mukaiset raivaussahatyön tuottavuusluvut. Koneratkaisun kustannukset laskettu pienen hakkuukoneen ja siihen kytketyn raivauslaitteen perustiedoin. Alustakoneen hinta 144 000 € ja perkauslaitteen 16 000 €. Alustakoneelle oletettu ympärivuotinen työllisyys ja taimikonhoitolaitteelle 6 kk:n työkausi.

Poistuma kpl/ha	Kantoläpimitta, cm			
	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm
	Tuottavuusvaatimus, ha/käyttötunti			
2 250	0,67	0,54	0,44	0,33
4 000	0,56	0,43	0,34	0,25
6 000	0,47	0,35	0,27	0,19
8 500	0,39	0,28	0,21	0,14
12 000	0,33	0,23	0,17	0,11
16 000	0,29	0,19	0,14	0,09
20 000	0,25	0,16	0,11	0,07
25 000	0,22	0,14	0,09	0,06

Usein on esillä kysymys käytetyn peruskoneen hyödyntämisestä alustakoneena. Jos oletetaan vanhan peruskoneen hinnaksi noin kolmannes uuden koneen hinnasta (50 000 €), hehtaarikustannukset ja samalla tuottavuusvaatimukset ovat vain noin 10 % pienemmät kuin uutta konetta käytettäessä. On huomattava, että jos käytettyä peruskonetta ei esim. pystytä työllistämään täysimääräisesti talvikautena tai sen korjaus- ja huoltokustannukset ovat erityisen suuret, kustannusetu menetetään nopeasti.

Taimikonhoitotyömaiden olosuhteet vaihtelevat laajasti taimikon kehitysvaiheen ja kasvupaikan mukaan. Taulukossa 3 on esitetty esimerkkinä erään metsänhoito-organisaation taimikonhoitotyömaiden jakauma. Varhaisperkaukset tehdään tyypillisesti noin metrin mittaisissa taimikoissa, joissa poistettavien puiden keskimääräinen kantoläpimitta on 1–2 cm. Myöhemmät perkaukset ajoittuvat tavallisesti taimikon 3–6 metrin pituusvaiheeseen, jolloin poistettavat puut ovat kantoläpimitaltaan 2–4 cm. Molemmantyyppisissä taimikonhoitotapauksissa poistuman tiheys vaihtelee suuresti sekä kohteiden välillä että niiden sisällä (ks. myös liite 2). On huomattava, että tässä esimerkkiaineistossa ei ole lainkaan ns. rästikohteita, joissa saattaa esiintyä huomattavan järeitäkin poistettavia puita. Osassa sellaisia tapauksia tulee jo energiapuun korjuukin kysymykseen.

TAULUKKO 3. Poistettavan puuston tunnuksat erään metsänhoito-organisaation taimikonhoitotyömailla.

Poistuma. kpl/ha	Poistuman kantoläpimitta, cm					Yhteensä
	1	2	3	4	5	
	Osuus pinta-alasta, %					
0-5000	3,1	5,2	6,1	0,4	0,6	15,4
5000-10000	3,4	11,5	5,9	2,7	0,0	23,6
10000-15000	5,8	11,2	8,0	2,6	0,1	27,6
15000-20000	4,1	7,5	1,3	0,1	0,0	13,0
20000-25000	2,6	7,3	1,4	0,0	0,0	11,2
25000-30000	2,4	2,5	0,2	0,0	0,0	5,1
>30000	1,8	2,2	0,0	0,0	0,0	4,1
Yhteensä	23,2	47,4	22,9	5,8	0,7	100,0

Esitetyt tuottavuusvaatimukset ovat suuntaa-antavia. Ne koskevat varsinaista toteutustyötä eivätkä siten sisällä esim. töiden suunnittelun ja organisoinnin mahdollisia eroja kone- ja ihmistyön välillä. Raivaussahatyön kohdalla mahdolliset erot käytännössä saavutettavan tuottavuuden ja TES:n koulutusaineiston tuottavuuslukujen välillä vaikuttavat luonnollisesti vaatimustasoon. Joissain tapauksissa koneellistaminen voi myös vähentää työtarvetta jatkokasvatuksessa, mikä vaikuttaa vaadittavaan tuottavuuteen (esim. varhaisperkaus ”kitkemällä”).

Liitteessä 2 on esitetty muutamia lisätarkasteluja koneellistamisolosuhteista ja -vaatimuksista sekä tietoa keskeisimpien metsänhoidon työläjien keskimääräisestä kustannustasosta.

Koneellisen työn työjälkivaatimukset eivät lähtökohtaisesti poikkea normaalin maanmuokkauksen, istutuksen tai taimikonhoidon vaatimuksista. Vaatimukset on kuvattu yleisissä oppaissa ja organisaatiokohtaisissa työohjeissa (ks. esim. Metsätehon oppaat). Yhtenä tutkimustehtävänä jatkossa on kuitenkin se, voitaisiinko joidenkin kasvatuseriaatteiden ja työjälkivaatimusten muutoksella parantaa koneellistamisedellytyksiä ja konetyön tuottavuutta.

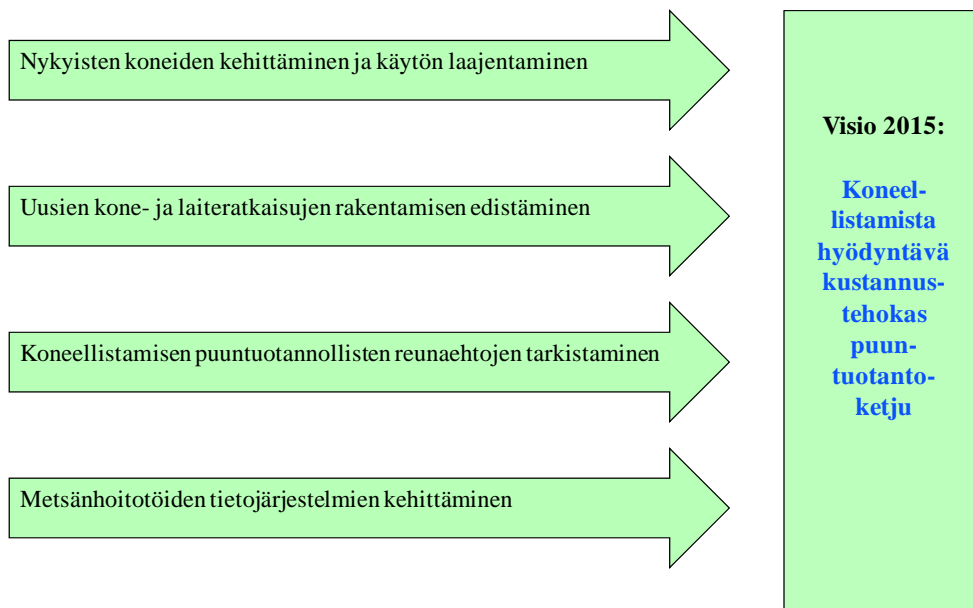
6 TUTKIMUS- JA KEHITTÄMISTARPEET

Vision saavuttaminen edellyttää määrätietoista jo kehitettyjen koneellisten menetelmien käyttöönottoa ja parantelua, uusien ratkaisujen kehittämistä ja sitä tukevaa kehityshyppäyksiin tähtäävää tutkimusta. Metsänhoitotöiden koneellistamisen ympärille tulee saada aikaan voimakas ”positiivinen kehityskierre”, joka kannustaa uusien ratkaisujen kehittämiseen leveällä rintamalla.

Vertailukohdaksi sopivat puunkorjuun koneellistamisen alkutaival sekä tuoreempina esimerkkinä energiapuun hankintaketjut. Alkuvaiheen pienimuotoisten kokeilujen jälkeen molemmissa päästiin voimakkaan innovoinnin ja kehittämisen kauteen, jonka pohjalta on ollut mahdollisuus seuloa parhaimpia ratkaisuja. Tämä edellyttää metsänhoitotöissäkin sitä, että kehitetyille

ratkaisuille on riittävän laajaa kysyntää, jotta ideoijat, kone- ja laitevalmistajat ja yrittäjät saadaan paneutumaan asiaan. Alkuvaiheessa tarvitaan ennakkoluulottomuutta ja valmiutta ottaa vastaan ylimääräisiä kehittämiskustannuksia pidemmän aikavälin hyötyjen vastapainoksi. Koneellisten metsänhoitotöiden tulee luonnollisesti olla kannattavaa liiketoimintaa koneyrityksille. Koneellistaminen vaikuttaa niin työnjohdon kuin työntekijöidenkin työtehtäviin, ja se on otettava käyttöönottovaiheessa huomioon.

Keskeisimmät tutkimus- ja kehitystarpeet ovat:



Kehittämisaalueet sisältävät seuraavanlaisia osatehtäviä:

Nykyisten koneiden kehittäminen ja käytön laajentaminen

- Nykyisten koneiden arviointi ja kehittämismahdollisuuksien arviointi
- Konetyön parhaiden käytäntöjen kartoitus, koulutusmateriaalin koostaminen ja kurssitoiminnan kehittäminen
- Koneellisen metsänhoitotyön liiketoimintamallien kehittäminen
- Alueelliset pilottihankkeet koneiden käytön laajentamiseksi
- Taimituotannon ja koneellisen istutuksen yhteensopivuuden kehittäminen.

Uusien kone- ja laiteratkaisujen rakentamisen edistäminen

- Automaation ja uuden teknologian mahdollisuuksien tutkiminen
- Kone- ja laitekehitystarpeiden viestintä ja ideoinnin aktivointi (kampanja)
- Prototyyppi-koneiden rakentamisen tuki
- Uusien koneiden tuottavuus-, kustannus- ja työjälkitarkastelut
- Selvitys eri alustakonetyyppien kustannuskilpailukyvyistä ja toimintaedellytyksistä metsämaastossa
- Eri työläjien yhdistämisen edellytysten tarkastelu.

Koneellistamisen puuntuotannollisten reunaehtojen tarkistaminen

- Eri käsittelyvaihtoehtojen puuntuotannollisen merkityksen tarkastelu
- Lehtipuiden juurineen noston (”kitkemisen”) merkitys kasvatusketjussa
- Eri muokkausvaihtoehtojen ja kannon noston vaikutus taimikonhoitotarpeeseen
- Biologiset ja kemialliset keinot vesakon torjunnassa.

Metsänhoitotöiden tietojärjestelmien kehittäminen

- Työn omavalvontaa ja raportointia sekä kasvatusketjun hallintaa tukevien järjestelmien määrittely
- Standardisointi sekä rajapintojen ja yhteensopivuusvaatimusten määrittely alan muihin tietojärjestelmiin nähden
- Sovellusten rakentaminen.

Osa luetelluista tehtävistä on käynnissä Metsäntutkimuslaitoksessa ja muissa tutkimusorganisaatioissa. Tutkimuksen painopisteen on tarpeen olla täysin uusien konekonseptien hakemisessa ja sitä tukevassa, kehityshyppäykseen tähtäävässä työssä. Sen rinnalla on tuettava voimakkaasti nykyisten koneratkaisujen edelleen kehittämistä ja käyttöönottoa. Kehittämistyön jatkuvuuden varmistamiseksi ja suuntaamisen tueksi on tarpeen perustaa valtakunnallinen seurantaryhmä.

7 KEHITTÄMISEN HYÖDYT

Tavoitteena on, että metsänhoitotöiden koneellistaminen:

- edistää metsänhoitotöiden toteutusta
- parantaa puuntuotannon kannattavuutta ja käsittelyketjun hallintaa
- tuo uusia liiketoimintamahdollisuuksia metsäalan yrittäjille ja tasaa resurssien käytön kausivaihtelua
- vähentää metsänhoitotöiden työvoiman tarvetta ja parantaa metsäalan houkuttelevuutta työpaikkana
- edistää metsänhoitopalvelujen tuotteistamista
- yksinkertaistaa ja tehostaa töiden organisointia ja ohjausta
- tukee uusia puun käyttömuotoja kuten energiapuun hankintaa
- tuottaa uusien tietojärjestelmien avulla lisäarvopalveluja metsänomistajalle, yrittäjälle ja urakanantajalle
- luo uutta liiketoimintaa ja vientimahdollisuuksia kone- ja laitevalmistajille sekä metsänhoitopalvelujen tarjoajille.

Suomessa tarvittaisiin vision mukaisilla koneellistamisasteilla noin 180 istutuskonetta ja 40–110 taimikonhoitokonetta, kun oletetaan että koneellisten ratkaisujen kustannuksiin suhteutettu tuotos olisi samaa tasoa putki-istutuksen ja raivaussahatyön kanssa (taulukot 4 ja 5).

Suomen lisäksi hyvään työjälkeen ja tuottavuuteen yltävillä metsänhoitokoneille voidaan olettaa olevan tarvetta ja markkinoita myös Ruotsissa, Pohjois-Amerikassa ja osin muualla Euroopassa. Varovaisesti arvioiden kokonaistarve voisi olla Suomen tasoon nähden 2–3 -kertainen.

TAULUKKO 4. Istutuskoneiden tarve Suomessa. Koneelle on oletettu laskelmassa 5 kk:n työkausi (85 pv) ja työskentely 2-vuorossa. Vuotuisesta istutuspinna-alasta 90 % on katsottu teknisesti koneistutuskelpoiseksi.

Tuotos tainta/käyttötunti	Koneistutusta, %			
	10	30	50	70
200	60	180	300	410
400	30	90	150	210
600	20	60	100	140
800	10	40	70	100
1000	10	40	60	80

TAULUKKO 5. Taimikonhoitokoneiden tarve Suomessa. Koneelle on oletettu laskelmassa 8 kk:n työkausi (150 pv) ja työskentely keskimäärin 1,5 vuorossa. Vuotuisesta taimikonhoitopinta-alasta 90 % on katsottu teknisesti koneelliseen taimikonhoitoon soveltuvaksi.

Tuotos ha/vuoro	Koneellista taimikonhoitoa, %			
	20	40	60	80
1	110	220	330	440
2	60	110	170	220
3	40	70	110	150
4	30	60	80	110
5	20	40	70	90

8 OHJELMAN TOTEUTUS JA RAHOITUS

Metsäteho vastaa ohjelman julkistamisesta ja ensivaiheen markkinoinnista alan toimijoille ja potentiaalisille T&K-työn rahoittajille.

Tutkimus- ja kehityshankkeet valmistellaan ja toteutetaan hajautetusti toimijaverkostossa. Nykyisten koneiden käyttöönotossa ja toimintamallien kehittämisessä keskeisiä toimijoita ovat metsäkoneyritykset, metsänhoitoyhdistykset, metsäkeskukset, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, metsäteollisuus- ja -talousyritykset, Metsähallitus sekä kone- ja laitevalmistajat.

Uusien ratkaisujen kehittämisessä avainasemassa ovat keksijät, kone- ja laitevalmistajat sekä tutkimuslaitokset kuten Metsäntutkimuslaitos, Metsäteho, yliopistot ja korkeakoulut.

Ohjelman toteutus edellyttää kaikkien toimijoiden omaa työpanosta ja rahoitusta. Metsänhoidon kannattavuuden parantaminen ja koneellistamisen edistäminen on kuitenkin nähty koko metsäsektorin kannalta tärkeäksi, joten ulkopuolisen tukirahoituksen saamiselle lienee edellytyksiä. Kysymykseen tulevia rahoituslähteitä ovat etenkin ministeriöt, TEKES, työ- ja elinkeinokeskukset sekä säätiöt.

KIRJALLISUUTTA

Koneistutus ja maanmuokkaus

- Appelroth, S-E. 1969. Tutkimus metsänistutuskoneista. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 68,5.
- Appelroth, S-E. & Harstela P. 1970. Tutkimuksia metsänviljelytyöstä 1: Kourukuokka, kenttälapio, taimivakka, taimilaukku sekä istutuskoneet Heger ja LMD-1 istutettaessa kuusta peltoon. Metsäntutkimuslaitos. Folia forestalia 85.
- Arnkil, R. 1997. Bräcke Planter- ja Ilves-istutuskoneiden tuottavuus ja työpäästä metsänistutuksessa. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto.
- Arnkil, R. & Hämäläinen, J. 1995. Bräcke Planter- ja Ilves-istutuskoneiden tuottavuus ja työpäästä. Metsätehon katsaus 1/1995.
- Engqvist, M. & Moretoft, M. 1993. Tids-studie och produktionsuppföljning. på Öje-Planter sommaren 1993. Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Hallonborg, U. & von Hofsten, H. 1992. Silva Nova 1992. Skogforsk.
- Hallonborg, U., von Hofsten, H., Mattson, S., Hagberg, J., Thorsén, Å., Nyström, C. & Arvidsson, H. 1995. Maskinell plantering med Silva Nova – nuvarande status samt utvecklingsmöjligheter i jämförelse med manuell plantering. Skogforsk, Redogörelse 6.
- Harstela, P. 2006. Kustannustehokas metsänhoito. Toinen korjattu ja täydennetty painos. Gravita Ky. Vammala.
- von Hofsten, H. 1993. Hög kvalitet även på högkvaliteten med Öje-Planter. Skogforsk, Resultat 3.
- von Hofsten, H. 1996. Delmekaniserad plantering med HevoTrac. Skogforsk, Resultat 12.
- von Hofsten, H. 2003. Markberedning med fylljord ett alternativ för steniga marker och fornlämningsrika områden. Skogforsk, Resultat 21.
- Härkönen, M. 2008. M-Planter- ja Bräcke-istutuskoneiden työn laatu. Abstract: Work quality of M-Planter and Bräcke forest planting machines. M.(Sc.) thesis. University of Joensuu, Faculty of Forest Sciences. Joensuu.
- Juntunen, M-L. & Herrala-Ylinen, H. 2009. Metsätalastotiedote 24/2009. Metsäntutkimuslaitos.
- Kaila, S. 1984. G.A. Serlachius Oy:n istutuskone. Metsätehon katsaus 9/1984.
- Kautto, K. 1997. Koneellisen istutuksen tuottavuus, työpäästä ja kustannukset. Työtehosteuran metsätiedote 5/1997.
- Maanmuokkauksen koulutusaineisto. Metsäteho. 2000.

- Mattsson, S. 1997. EcoPlanter, planteringsmaskin med fräs. Skogforsk, Resultat 4.
- Metsänviljelyopas. Metsäteho. 2001.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2008. Metsäntutkimuslaitos.
- Rantala, J. & Saarinen, V-M. 2006. Istutuskoneinvestointi alueyrittäjän näkökulmasta. Metsätieteen aikakauskirja 3/2006: 343–352.
- Roms, J. 2007. Koneellisesti istutettujen kuusen paakkutaimien maastomenestymisen. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto.
- Rummukainen, A. 1993. Ilves-metsänistutuslaite maataloustraktorissa. Työteho-seuran metsätiedote 7.
- Rummukainen, A. & Tervo, L. 1994. Uusia vaihtoehtoja metsänkasvatukseen: metsäntutkimuspäivä Järvenpäässä 16.11.1993. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos, metsänkasvatuksen tutkimusosasto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 491.
- Rummukainen, A., Tervo, L. & Kautto, K. 2002. Ilves- ja Bräcke-istutuskoneet – Tuottavuus, työnjälki ja kustannukset. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 857.
- Rummukainen, A., Kautto, K. & Tervo, L. 2003. Estimating the theoretical development potential of a boom-tip forest planting machine. *Baltic Forestry* 9(1): 81-86.
- Saari, S. 2008 Mättäiden ominaisuudet koneellisen istutuksen yhteydessä taimen varhaiskehityksen kannalta. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto.
- Saarinen, V-M. 2004. Productivity and quality of work with the Bräcke and Eco-planter planting machines. In (eds.): Uusitalo, J., Nurminen, T. & Ovaskainen, H. NSR Conference on forest operations 2004 – Proceedings. *Silva Carelica* 45: 57–63.
- Saarinen, V-M. 2006. The effects of slash and stump removal on productivity and quality of forest regeneration operations – preliminary results. *Biomass and Bioenergy* 30 (4): 349–356.
- Vartiamäki, T. 2003. Koneellinen metsänistutus vuonna 2003 – Kyselytutkimuksen tulokset. Metsätehon raportti 154.
- Vartiamäki, T. 2005. Metsänistutuksen koneellistamisen tilanne. Metsätehon tuloskalvosarja 2005/08.
- Åhlund, J. 1995. Mekaniserad plantering med ECO-Planter 2000 – en prestationstudie samt systemjämförelse med Silva Nova och manuell plantering. Sveriges Lantbruksuniversitet, Studentuppsatser 29.

Koneellinen taimikonhoito

- Ahl, J. 2004. Koneellinen reikäperkaus, ajankäyttö ja kannattavuus. Opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Aholaakko, K. 2009. Kylvömännikön koneellisen kitkennän laatu ja tuotos. Opinnäytetyö, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- Ari, T. & Kumpare, T. 1991. Koneellinen taimikonperkaus: hyvä työjälki, kustannukset vielä korkeat. Metsähallitus, kehittämisjaosto, tiedote 2.
- Bergkvist, I. & Norden, B. 2004. Stråkröjning – en metod med stor potential.
- Bergkvist, I. & Norden, B. 2004b. Stråkröjning billigare och effektivare än selektiv röjning. Skogforsk, Resultat 20.
- Bergkvist, I. 2006. Praktisk uppföljning visar att stråkröjning har stor potential. Skogforsk, Resultat 2.
- Ferm, A. & Issakainen, J. 1981. Kaatoajankohdan ja kaatotavan vaikutus hieskoivun vesomiseen turvemaidella. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 33.
- Glöde, D. & Bergkvist, I. 2003. 30 år med maskinell röjning : summering av utförd FoU och analys av framtida potential. Skogforsk, Redogörelse 4.
- Harstela, P. 2006. Kuinka paljon taimikonhoidosta voidaan koneellistaa? Työteho-seura. Teho 2006: 1.
- Heikkinen, O. 2009. Kitkevän reikäperkauksen vaikutus lehtipuiden kantovesomisen määrään. Opinnäytetyö, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- Huuskonen, S. 2008. Nuorten männiköiden kehitys – taimikonhoito ja ensiharvennus. Helsingin yliopisto, maa- ja metsätieteellinen tiedekunta, metsäekologian laitos. Akateeminen väitöskirja.
- Kaila, S. 2005. Metsänhoitotöiden koneellistamisedytykset. Kehittyvä puuhuolto 2005 – Seminaari metsäammattilaisille.
- Kaila, S. 2005b. Käykö taimikon perkaus koneella? Metsätehon katsaus 1/2005.
- Kaivola, A. 1995. Taimikonhoidon koneellistamismahdollisuudet. Työtehoseuran julkaisuja 344.
- Kariniemi, A. 1993. Istutuskuusikon koneellinen perkauskoe. Työtehoseuran metsätiedote 3.
- Kukkonen, M. 2008. Kitkevän reikäperkauskoneen soveltuvuus männyntaimikon varhaisperkaukseen. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, metsäsuunnittelun ja -ekonomian kandidaatin tutkielma.
- Kärhä, K. 2002. Nuoren metsän hoitotyön pienteknologia. Työtehoseuran julkaisuja 387.
- Maltamo, M., Kangas, J. & Tolonen, R. 1989. Vesakon alkukehitys ja sen vaikutus taimikkoon. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 343.

- Nuortimo, P. 2008. Kitkentään tarvittava voima koneellisessa varhaisperkauksessa. Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu.
- Ojarinta, T. 2006. Optimaalisen reikäperkaussäteen määrittäminen kuusenistutus-taimikoissa reikäperkaussimulointeihin perustuen. Opinnäytetyö, Joensuun yliopisto.
- Peltola, S. 2006. Reikäperkauksen, purppuranahakkasienikäsitteilyn (*Chondrostereum purpureum*) ja kitkennän vaikutukset kuusen taimikon varhaiskehitykseen. Pro Gradu, Joensuun yliopisto.
- Petré, E. 1984. Maskinell röjning med kranspetsmonterat aggregat. Skogsarbeten, redogörelse 4.
- Vestlund, K. 2005. Aspects of automation of selective cleaning. SLU. Doctoral thesis No. 2005:74.
- Ylimartimo, M. & Heikkilä, J. 2003. Koneellistaminen – uutta tehoa taimikonhoitoon? Kehittyvä puuhuolto 2003 – Seminaari metsäammattilaisille.
- Ylimartimo, M. & Heikkilä, J. 2003b. Taimikonhoitotöiden koneellistamiskelpoisuus. Metsätieteen aikakauskirja 2003:4 , s. 429–437.

METSÄNHOIDON KONE- JA LAITERATKAISUJA

Nykyiset istutuskoneet

Bracke P11.a



- valmistaja: Bracke Forest Ab
- alustakoneena kaivukone
- yksi istutuspää
- taimimakasiinin koko 72 tainta, täyttö käsin (15 - 20 % työajasta)
- tekee laikkumättään, istuttaa taimen säädettyyn syvyyteen
- tuotos: 133 - 168¹, 150 - 160², keskimäärin 174³ tainta/käyttötunti

¹ Arnkil, R. & Hämäläinen, J. 1995. Bräcke Planter- ja Ilves-istutuskoneiden tuottavuus ja työjälki. Metsätehon katsaus 1/1995

² Vartiamäki, T. 2005. Metsänistutuksen koneellistamisen tilanne. Metsätehon tulosalvosarja 2005/08.

³ Rantala, J., Harstela, P., Saarinen, V-M. & Tervo, L. 2009. M-Planter- ja Bracke-istutuslaitteiden työn tuottavuus ja siihen vaikuttavat tekijät. (Julkaisematon ennakkotulos)

LIITE 1

2 (6)

M-Planter



- valmistaja: M-Planter Oy
- alustakoneena kaivukone
- kaksi istutus päätä
- taimimakasiinin koko 2*121 tainta, täyttö käsin (15 - 20 % työajasta)
- tekee laikkumättään johon istuttaa taimen
- tuotos: keskimäärin 236¹ tainta/käyttötunti

¹ Rantala, J., Harstela, P., Saarinen, V-M. & Tervo, L. 2009. M-Planter- ja Bracketuslaitteiden työn tuottavuus ja siihen vaikuttavat tekijät. (Julkaisematon ennakkotulos)

Risutec PM160



- valmistaja: Risutekniikka Ky
- alustakoneena kaivinkone
- yksi istutus pää
- taimimakasiinin koko 160 tainta, täyttö käsin (15 - 20 % työajasta)
- tekee laikkumättään johon istuttaa taimen
- tuotos: ei tutkittua tietoa

Käytöstä poistuneita istutuskoneratkaisuja

EcoPlanter



- valmistaja: Partek Forest Oy Ab (ei valmisteta enää)
- alustakoneena hakkuukone
- muokkauslaitteena kaksi rullajyrsintä
- kaksi istutuspäätä
- taimimakasiinin koko 240 tainta, täyttö käsin
- tekee kohouman, jossa kivennäismaa ja humus sekaisin
- tuotos: 223¹ tainta/tehotunti

¹ Saarinen, V-M. 2004. Productivity and quality of work with the Bräcke and Ecoplanter planting machines. In (eds.): Uusitalo, J., Nurminen, T. & Ovaskainen, H. NSR Conference on forest operations 2004 – Proceedings. Silva Carelica 45: 57–63.

LIITE 1

4 (6)

Serlachiuksen istutuskone



- valmistaja: G. A. Serlachius 1980-luvulla (ei valmisteta enää)
- alustakoneena kuormatraktori
- kaksi istutus päätä
- automatisoitu taimien syöttö, muuta aistintekniikka
- äesjälki, jatkuvatoiminen muokkaus ja istutus
- tuotos: jopa 900¹ tainta/käyttötunti

¹ Kaila, S. 1984. G.A. Serlachius Oy:n istutuskone. Metsätehon katsaus 9/1984.

Silva Nova



- ei valmisteta enää
- alustakoneena kuormatraktori
- kaksi istutus päätä
- kuljettajan lisäksi toinen henkilö, joka ohjaa istutusta
- äesjälki, jatkuvatoiminen muokkaus ja istutus
- tuotos: jopa 1 000¹ tainta/käyttötunti

¹ Hallonborg, U. & von Hofsten, H. 1992. Silva Nova 1992. Skogforsk.

Taimikonhoitokoneet

Mense RP80 raivauspää



- valmistaja: MenSe Oy
- alustakoneena hakkuukone
- katkaisujärjestelmä: edestakaisin liikkuvat terät (katkaisu 15 cm asti)
- tuotos: ei tutkittua tietoa
- laitteesta myös pienempi versio, MenSe RP40

Naarva kitkevä reikäperkaaja



- valmistaja: Pentin Paja Oy
- alustakoneena hakkuukone
- taimikoiden varhaisperkaus 4 - 5-vuotiaissa taimikoissa
- poistettava puusto nostetaan juurinen, ehkäisee uudelleen vesomista
- tuotos: ei tutkittua tietoa

LIITE 1

6 (6)

Bracke-raivuri C12.a



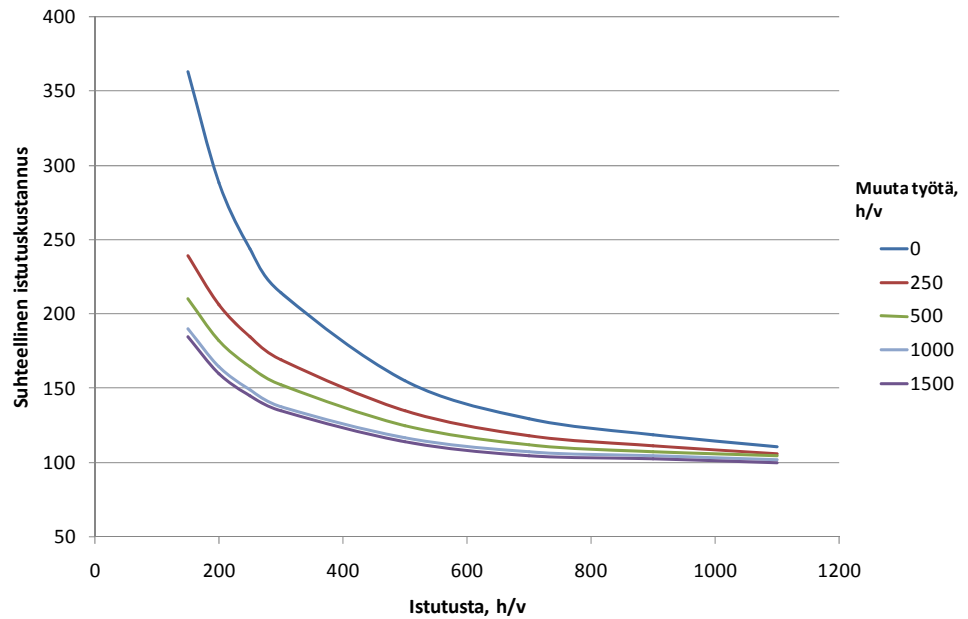
- valmistaja: Bracke Forest Ab
- alustakoneena hakkuukone, kaivukone tai maataloustraktori
- katkaisujärjestelmä: pyörivä teräketju (katkaisu 16 cm asti)
- tuotos: ei tutkittua tietoa

Risutec III taimikonhoitolaite

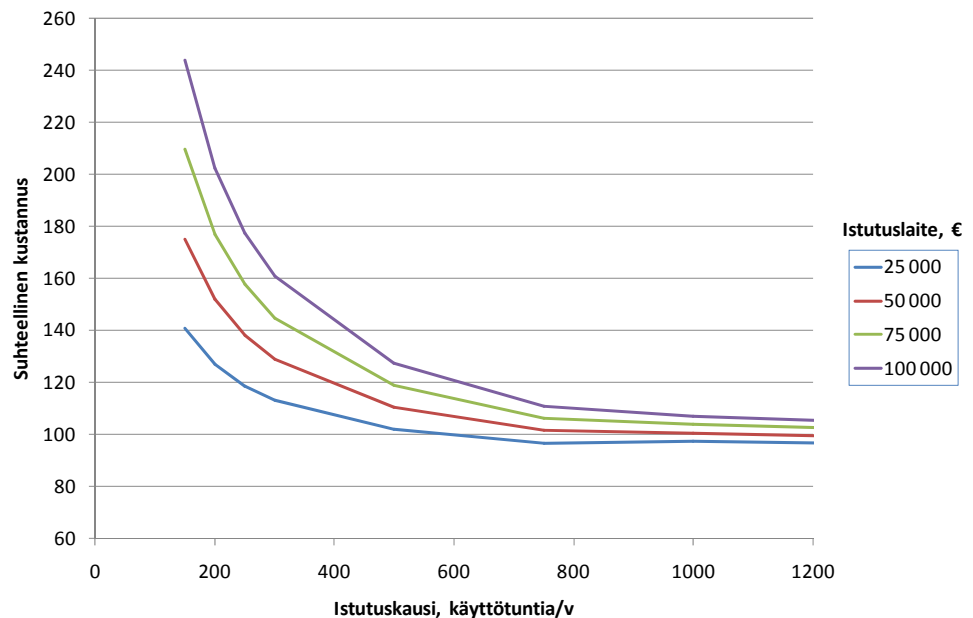


- valmistaja: Risutekniikka Ky
- alustakoneena hakkuukone, kaivukone tai kuormatraktori
- katkaisujärjestelmä: pyörivä terä (katkaisu 32 cm asti)
- tuotos: ei tutkittua tietoa
- valmistajalla myös seuraavat taimikonhoitolaitteet:
Risutec TRC ja II

LASKELMIA KONEISTUTUKSEN KUSTANNUKSISTA



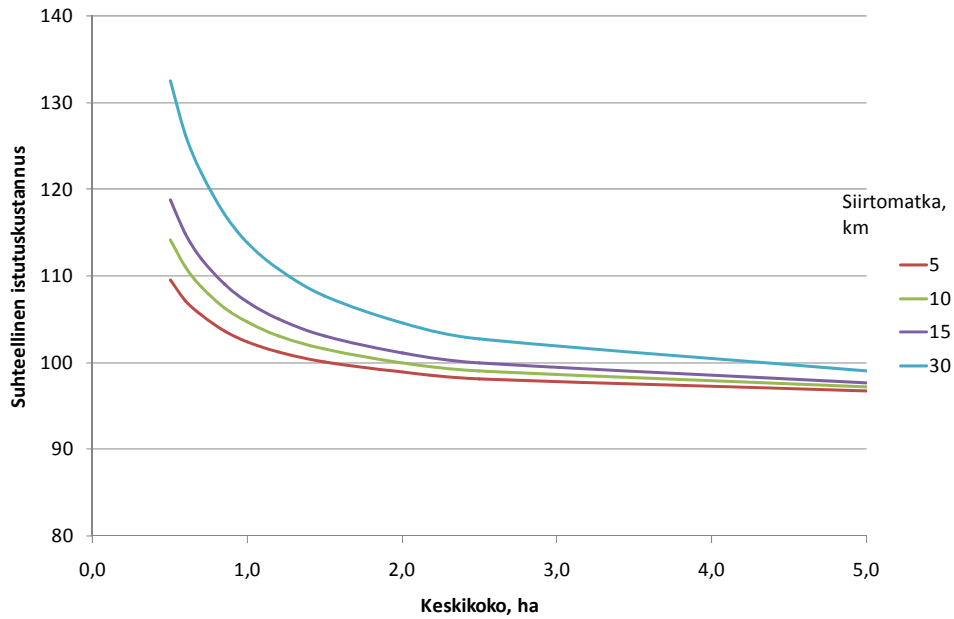
Työmäärän vaikutus koneellisen istutuksen kustannuksiin. Laskelmassa kaivukonealustainen istutuskone. 100-taso: istutuskausi 1100 käyttötuntia ja muuta työtä 1500 tuntia vuodessa. Ylin käyrä (muuta työtä 0 tuntia) kuvaa pelkästään istutukseen käytettävän erikoiskoneen tilannetta.



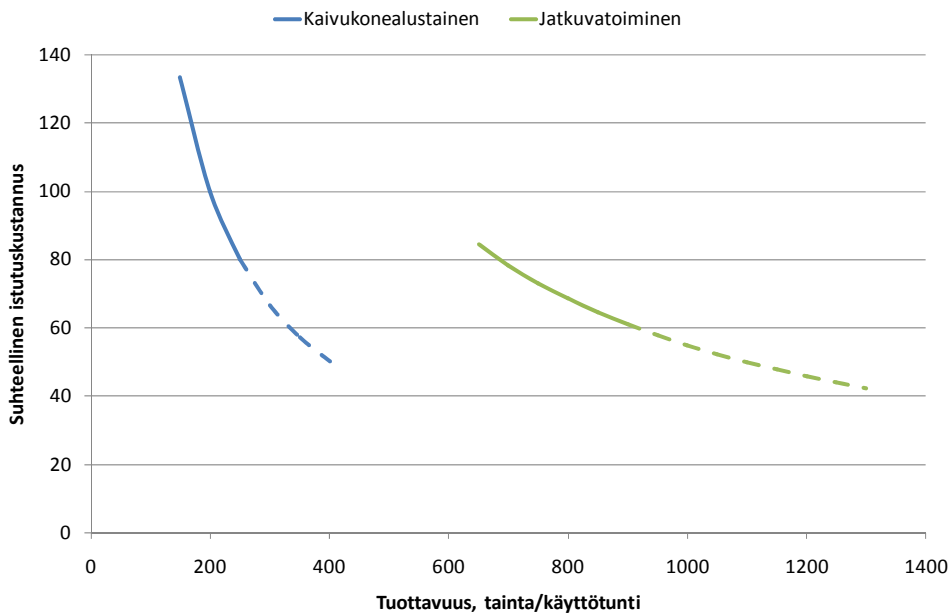
Istutuslaitteen hinnan ja työkauden pituuden vaikutus koneellisen istutuksen kustannuksiin. Laskelmassa kaivukonealustainen istutuskone. 100-taso: istutuskausi 1100 käyttötuntia ja muuta työtä 1600 tuntia vuodessa.

LIITE 2

2 (5)



Työkohteen koon ja siirtomatkan vaikutus koneellisen istutuksen kustannuksiin. Laskelmassa kaivukonealustainen istutuskone. 100-taso: istutuskausi 1100 käyttötuntia ja muuta työtä 1600 tuntia vuodessa.



Laskelma konetyypin ja tuottavuuden vaikutuksesta koneellisen istutuksen kustannuksiin. Laskelmassa kaivukonealustainen istutuskone vastaa nykyisin käytössä olevaa konetyyppiä (kokonaishinta 190 000 €). Jatkuvatoimisen koneen kustannusrakenne on koostettu G.A. Serlachiuksen istutuskoneen tietojen perusteella (kokonaishinta 640 000 €). 100-taso: kaivukonealustainen kone, tuottavuus 200 tainta käyttötunnissa.

**ESIMERKKEJÄ ERÄÄN METSÄNHOITO-ORGANISAATION
TAIMIKOHOITOTYÖMAIDEN OLOSUHTEISTA**

Varhaisperkaus

Poistuma. kpl/ha	Poistuman kantoläpimitta, cm					Yhteensä
	1	2	3	4	5	
	Osuus pinta-alasta, %					
-5000	9	11	1	1	0	22
5001-10000	7	15	1	0	0	23
10001-15000	15	6	0	0	0	21
15001-20000	10	7	0	0	0	17
20001-25000	5	3	0	0	0	9
25001-30000	4	0	0	0	0	4
>30000	3	1	0	0	0	5
Yhteensä	53	44	2	1	0	100

Taimikon keskipituus, dm	Poistuman kantoläpimitta, cm					Yhteensä
	1	2	3	4	5	
	Osuus pinta-alasta, %					
<20	49	34	0	0	0	83
20-40	4	11	2	0	0	17
40-60	0	0	0	0	0	0
>60	0	0	0	0	0	0
Yhteensä	53	44	2	1	0	100

Muu perkaus

Poistuma. kpl/ha	Poistuman kantoläpimitta, cm					Yhteensä
	1	2	3	4	5	
	Osuus pinta-alasta, %					
-5000	0	2	9	0	1	12
5001-10000	1	10	9	4	0	24
10001-15000	1	14	12	4	0	31
15001-20000	1	8	2	0	0	11
20001-25000	1	9	2	0	0	13
25001-30000	2	4	0	0	0	6
>30000	1	3	0	0	0	4
Yhteensä	7	49	34	9	1	100

Taimikon keskipituus, dm	Poistuman kantoläpimitta, cm					Yhteensä
	1	2	3	4	5	
	Osuus pinta-alasta, %					
<20	1	1	0	0	0	2
20-40	3	22	7	1	0	33
40-60	3	16	16	4	0	38
>60	1	10	10	4	1	26
Yhteensä	7	49	34	9	1	100

LIITE 2

4 (5)

**LASKELMA TAIMIKON PERKAUSKONEEN TUOTTAVUUDEN
MINIMIVAATIMUKSISTA**

Työvuoroa kohti

Poistuma kpl/ha	Kantoläpimitta, cm			
	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm
Tuottavuusvaatimus, ha/työvuoro				
2 250	5,1	4,1	3,4	2,5
4 000	4,3	3,3	2,6	1,9
6 000	3,6	2,7	2,1	1,4
8 500	3,0	2,1	1,6	1,1
12 000	2,5	1,7	1,3	0,8
16 000	2,2	1,5	1,0	0,7
20 000	1,9	1,2	0,9	0,6
25 000	1,7	1,0	0,7	0,4

Käyttötuntia kohti

Poistuma kpl/ha	Kantoläpimitta, cm			
	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm
Tuottavuusvaatimus, ha/käyttötunti				
2 250	0,67	0,54	0,44	0,33
4 000	0,56	0,43	0,34	0,25
6 000	0,47	0,35	0,27	0,19
8 500	0,39	0,28	0,21	0,14
12 000	0,33	0,23	0,17	0,11
16 000	0,29	0,19	0,14	0,09
20 000	0,25	0,16	0,11	0,07
25 000	0,22	0,14	0,09	0,06

Käyttöminuuttia kohti

Poistuma, kpl/ha	Kantoläpimitta, cm			
	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm
Tuottavuusvaatimus, kpl/min				
2 250	25	20	17	12
4 000	37	29	23	17
6 000	47	35	27	19
8 500	56	40	30	20
12 000	66	45	33	22
16 000	77	51	37	24
20 000	84	54	38	24
25 000	91	57	39	25

Metsänhoitotöiden yksikkökustannuksia 2008

	I	II
	€/ha	€/ha
Uudistusalan raivaus	157	112
Äestys	162	154
Laikutus	272	246
Mätästys	296	286
Istutus	626	562
Kylvö ¹	336	334
Taimikon varhaishoito ²		280
Taimikonhoito	350	379
Nuoren metsän kunnostus	336	359
Ennakkoraivaus		237

I = Yksityiset

II = Yhtiöt ja Metsähallitus

¹ konekylvö, sisältää muokkauksen

² täysperkauksena

Lähde: Metsätilastotiedote 24/2009, Metla

LIITE 3

1 (9)

TEKNOLOGIASELVITYS: AUTOMAATION JA UUDEN TEKNOLOGIAN MAHDOLLISUUDET METSÄNHOIDON KONEELLISTAMISEN NÄKÖKULMASTA

Arto Visala, Matti Öhman, Mikko Miettinen, Jakke Kulovesi,
Heikki Hyyti ja Jouko Kalmari

TKK Automaatio- ja systeemitekniikan laitos, Autonomiset järjestelmät -tutkimusryhmä

Tässä teknologiaselvityksessä on tutkittu automaation ja uuden teknologian mahdollisuuksia metsänhoidon koneellistamisen näkökulmasta. Kun halutaan automatisoida puomin ja toimilaitteen liikkeitä taimikkoa perattaessa, harvennetaessa tai muuten hoidettaessa, säilytettävät taimet ja nuoret puut on paikannettava sekä suhteessa koneeseen ja sitä kautta toimilaitteeseen että absoluuttisesti.

Riittävän tarkka absoluuttinen paikka on yksikäsitteinen tunnus yksittäiselle puulle: Se olisi hyvä saada tallennettua jo istutuksen yhteydessä tarkan satelliittipaikannuksen avulla. Esim. RTK GPS todennäköisesti toimii kohtuullinen hyvin avoimella uudistusalalla, katvealueitakin tosin on. Kylvämällä tai luontaisesti syntyneiden taimien tai puiden absoluuttinen paikka olisi hyödyllistä saada talteen hoitotoimien tai viimeistään harvennusten yhteydessä, jolloin puukarttaa voidaan hyödyntää ja päivittää myöhemmissä hoitotoimissa ja hakkuissa.

Vaikka satelliittipaikannus ei toimi hyvin varttuneemmissa metsissä, taimien absoluuttisista paikoista, eli taimikartasta, on enemmän tai vähemmän hyötyä myös suhteellisesta taimien paikannuksessa koneen ja toimilaitteen suhteen, koska tiedetään a priori, etukäteen, mistä etsiä taimia. Suhteellinen taimien paikannus perustuu taimien tunnistamiseen koneaistimilla, joista alempana enemmän.

Työkoneen paikannus

Merkintälasku (DR, Dead Reckoning) on yksinkertaisin paikantamisen muoto. Sillä tarkoitetaan liikkuvan työkoneen paikan ja asennon estimointia integroimalla sen liikettä jostakin alkuasennosta eteenpäin. Koneen liike mitataan esimerkiksi renkaiden pyörimisestä ja ohjauskulmista. Merkintälaskun ongelmana on, että jokainen muutos paikan ja asennon estimaatissa sisältää virhekomponentin ja että nämä virheet kumuloituvat integrointiprosessissa ja estimaatin epävarmuus kasvaa rajatta ajan kuluessa. Epävarmuuden kasvua voidaan hidastaa parantamalla liikemallia ja anturointia mutta sitä ei voida kokonaan pysäyttää. Merkintälasku on näin ollen sopimaton ainoaksi paikantamistekniikaksi. Sillä saadaan kuitenkin hyödyllistä lisäinformaatiota esimerkiksi karttapohjaisen paikannuksen tueksi.

Ajoneuvon paikannuksessa voidaan käyttää hyväksi erilaisia ympäristöstä selvästi erottuvia maamerkkejä, joiden sijainti tunnetaan ja joiden suhteen ajoneuvon sijainti pystytään määrittämään. Maamerkit voivat olla joko kei-

notekoisia tai luonnollisia. Luonnollisina maamerkkeinä voidaan käyttää esimerkiksi puita, kiviä, teitä ja rakennuksia. Koneen paikka voidaan määrittää noin 10 cm tarkkuudella käyttäen 2D-laserskanneria ja kolmiomittaus- ta kahdesta puun rungosta.

Inertiamenetelmä perustuu ajoneuvon paikan ja orientaation integroimiseen täydellisimmillään kuuden vapausasteen kiihtyvyy- ja kulmanopeusmittauksista. Usein, sovellutuksesta riippuen vapausasteiden määrää voidaan supistaa. Mikroelektromekaanisilla (MEMS, engl. Micro Electro-Mechanical Systems) tarkoitetaan pienikokoisia laitteita, jotka koostuvat mikrometrikokoluokan rakenteista. MEMS-laitteista, etenkin erilaiset anturit, ovat tehneet läpimurron kaupallisiin tuotteisiin.

MEMS inertia paikannuslaitteiden kiihtyvyyssantureiden tarkkuus ei riitä paikan tarkkaan integrointiin, mutta MEMS IMU-laitteet ovat tärkeä komponentti paikannuksessa yhdistämällä eri paikannuksen mittalaitteiden tietoja, etenkin niiden antama orientaatiotieto on hyödyllistä.

Samanaikaisen paikannuksen ja kartoituksen (SLAM, Simultaneous Localization And Mapping) tavoitteena on muodostaa ympäristöstä karttaa, jota samanaikaisesti käytetään myös paikannukseen ja navigointiin. SLAM-algoritmit ovat avainasemassa paikannuksessa varttuneemmassa metsässä, jossa satelliittipaikannuksessa on merkittävää ennakoimatonta bias -virhettä. Absoluuttipaikannuksen perustuu satelliittipaikannukseen. Tällä hetkellä satelliittipaikannus tarkoittaa GPS-järjestelmän käyttöä. Lähivuosina on odotettavissa että satelliittipaikannuksen tarkkuus ja luotettavuus paranee rinnakkaisten järjestelmien, Venäjän Glonass ja etenkin EU:n Galileo, käyttöönoton myötä. Vaikea sanoa kuinka paljon liikkuvan koneen paikannuksen tarkkuus paranee varttuneessa metsässä.

Taimien ja puiden havainnointi ja tunnistaminen, suhteellinen paikannus

Konenäköjärjestelmän tarkoitus on tuottaa kiinnostavaa tietoa ympäristöstä siitä otettujen digitaalikuviin perusteella. Tärkeitä laitteistoon liittyviä kysymyksiä ovat kameran tekniikka ja ominaisuudet, liittynät, kaappauskortit sekä ympäristön asettamat vaatimukset. On tiedettävä tarkasti mitä miltäkin osa-alueelta vaaditaan ja suunniteltava laitteisto vaatimusten mukaan.

Konenäkö

Kameroiden kuvakenno on tyypillisesti joko CCD tai CMOS -tyyppiä. CCD on vanhempi tekniikka ja sillä saadaan toistaiseksi parempilaatuisia kuvia kuin CMOS-tekniikalla. CCD-kenno saa teoriassa kaiken kennon pinta-alalle osuvan valon talteen, kun taas CMOS-kennoissa integroitu elektronikka vie osan pinta-alasta. CMOS-kenno kehittää CCD-kennoa enemmän kohinaa ja epätasaisuutta kuvaan. Tämä johtuu jokaiseen kuvaelementtiin integroiduista jännitteentuottajista. CCD-kennoissa muutos elementtien varauksesta jännitteeksi tehdään keskitetysti. CMOS tekniikan etuja ovat helppömpi valmistustekniikka ja matalampi virrankulutus. CCD:n etuja ovat pa-

LIITE 3

3 (9)

rempi kuvanlaatu ja toiminta heikommassa valaistuksessa. Kummatkin kennot aistivat vain valon intensiteettiä. Värillistä kuvaa saadaan käyttämällä sopivia suotimia kennoihin. Kennot määrittävät resoluution mihin kamera pystyy ja pääosin kuvan laadulliset ominaisuudet.

Kamerat paranevat ja halpenevat hyvää vauhtia. Konenäkökamerat ovat kuitenkin suunniteltu pääosin sisäkäyttöön; ulkoilmassa vaihtelevat valaistusolosuhteet aiheuttavat lisäongelmia. Autokäyttöön tarkoitettuja konenäköjärjestelmiä on tulossa markkinoille.

Hyvä optiikka kuitenkin pysyy suhteellisen kalliina.

Haluttu mittaustarkkuus ja ohjelmiston nopeusvaatimukset sanelevat paljolti kameran vaatimuksia. Vaaditaan, ettei yksi kuvapiste vastaa yli kahta senttimetriä n. 15 metrin päässä olevasta kohteesta. Tämä tarkoittaa että kameran vaakaresoluution on oltava riittävä. Tämä riippuu näkymäkulmasta, kennon resoluutiosta sekä linssin ominaisuuksista ja on helposti laskettavissa. Megapikselikamera on minimi. Kuvanottotaajuudeksi riittää kymmenisen kuvaa sekunnissa, sillä tarvittavat algoritmit ovat melko raskaita eikä kuvia kuitenkaan ehditä käsitellä sen nopeammin.

Kameraksi digitaalinen CCD-värikamera on hyvä ratkaisu liitännöiden ja kuvanlaadun puolesta. Liitynnäksi FireWire on hyvä, koska se on tarpeeksi nopea, sen saa kätevästi liitettyä eikä se tarvitse kalliita lisäosia. Linssiksi tulee valita melko pienen polttovälin linssi, jotta näkymän laajuus saadaan tarpeeksi suureksi (esim. 8mm linssi).

Jos kohteen koko tunnetaan, voidaan jo yhdelläkin kameralla laskea etäisyys kohteeseen. Käytännössä etäisyystiedon laskenta edellyttää kahta tai useampaa kameraa, jolloin stereokuvankäsittelyn avulla on mahdollista laskea myös etäisyystietoa tunnistettujen vastinpisteiden perusteella.

Syvyyskamerat

Syvyyskamera on uusi kameratyyppe. Syvyyskameroissa mitataan pikselikohtainen etäisyystieto valon intensiteettitiedon lisäksi. Syvyyskameran (Photonic Mixer Device, Pixel Mixed Device, 3D Camera, Time of Flight Camera) toiminta perustuu yleensä infrapunavalon matka-ajan mittaukseen. Näkyvän valon aallonpituudet ovat välillä 400-700nm ja syvyyskameroissa käytetyt infrapuna-aallonpituudet ovat noin 800nm.

Syvyyskamerat eivät ole vielä tehneet lopullista läpimurtoaan ja yleistyneet. Tutkimus syvyyskameroiden parissa on kuitenkin intensiivistä ja edut tavallisiin kameroihin verrattuna ovat selvät. Syvyyskameroiden hintojen laskiessa on mahdollista, että syvyyskamerat syrjäyttävät tietyissä sovelluksissa perinteiset kaksiulotteiset kamerat kokonaan. Syvyyskameroissa voidaan käyttää kahta eri lasermittaustekniikasta tuttua toimintaperiaatetta eli lentoaika- ja vaihe-eromittausta.

Laserskannerit

Useimpien laserskannerien toiminta perustuu lentoaikamittaukseen: lähetetyn ja kohteesta takaisin anturiin heijastuneen pulssin mitatun lentoajan perusteella voidaan laskea etäisyys kohteeseen.

Vaihe-ero-skannerin mittaus perustuu jatkuvaan amplitudimoduloituun lasersäteeseen. Etäisyys kohteeseen mitataan moduloidun lasersäteen ja heijastuneen lasersäteen vaihe-eron avulla. Jatkuvan lasersäteen käytön takia integroitava energia kasvaa helposti liian suureksi, jolloin laitteet eivät ole silmäturvallisia.

2D-laserskanneri mittaa ympäristönsä kohteita yhdessä tasossa. Skannerien näkemä maksimikulma vaihtelee, yleisimpiä ovat 100°, 180° sekä 360°. Kaksiulotteisen skannerin etuina voidaan pitää suurta mittaustaajuutta sekä mittausdatan suhteellisen pientä määrää. Tämä nopeuttaa tiedonkäsittelyä ja laskentaa, minkä johdosta kaksiulotteiset skannerit soveltuvat hyvin reaaliaikaisuutta vaativiin sovelluksiin.

Jotkin valmistajat ovat lisänneet 2D-mittalaitteisiinsa usean päällekkäisen mittaustason, jolloin mittalaite on teoriassa rajoitetusti 3D-laserskanneri, mutta käytännössä, koska pystysuunnassa mittauskeilan leveys on vain joi-tain asteita, ei näitä mittalaitteita voi käyttää samaan tarkoitukseen kuin 3D-skannereita yleensä käytetään. Näillä useampitasoisilla 2D-skannereilla saa kuitenkin varmempaa tietoa edessä olevasta kohteesta kuin vain yhdessä tasossa mittaavalla vastaavalla laitteella.

Nykyisin myös monet uudet laitteet mittaavat useita peräkkäisiä lasersäteen heijastumia. Tämä on erityisen hyvä ominaisuus varsinkin huonolla säällä, jolloin ensimmäiset heijastukset tulevat satunnaisesti esimerkiksi lumihiu-taleista. Kun myös taaempänä olevat heijasteet otetaan huomioon, voidaan satunnainen kohina suodattaa helpommin pois.

2D-skannereiden hinnat (kuten Ibeo ja SICK) ovat nyt luokkaa muutama tuhat euroa. Muutaman vuoden kuluttua hintojen odotetaan laskevan luok-kaan muutama sata euroa.

Kolmiulotteisessa 3D-laserskannerissa lasersäde liikkuu kahden kohtisuoran akselin suhteen, minkä ansiosta ympäristöstä saadaan mittaustietoa kolmi-ulotteisessa avaruudessa. Lentoaikamittaukseen perustuva 3D-laserskanneri näkee jopa 350 metrin päähän riippuen kohteen ja ympäristön heijastusky-vystä. Kolmiulotteinen laserskanneri voi mitata myös kohteen valon intensi-teettiä, jolloin saadaan samalla intensiteettikuva. Kolmiulotteisten laserskannerin valmistajia on mm. itävaltalainen Riegl sekä Faro iQvolution. Ko-ko kuvan mittaamiseen menee aikaa useita minutteja. Etäisyysmittauksen tarkkuus on parhaissa malleissa noin 5 mm.

LIITE 3

5 (9)

Laserskanneritiedon käsittely

Mittausdataa voidaan yhdistää perättäisiä 3D-kuvia toisiinsa liitämällä, niin että kuvien välinen liikkeen ja asennon muutos lasketaan kuvia vertaamalla ja toisiinsa sovittamalla. Tätä sovitustehtävää voidaan yksinkertaistaa merkintälaskulla käyttämällä hyväksi odometriatietoa laitteen liikkeestä ja inertiatietoa asennon muutoksista. Jolloin siis anturitiedon perusteella saadaan ennakoarvaus siitä miten edellinen ja nykyinen 3D-kuva saattaisivat olla suhteessa toisiinsa.

3D-skannaukset tehdään yleensä paikaltaan, jotta mittauksissa ei olisi liikkeestä ja heilumisesta johtuvaa virhettä. Kuitenkin jos on pakko mitata liikkeestä, pitää tapahtunut mittauslaitteen heiluminen, värinä ja liike kompensoida pois lopullisesta 3D-kuvasta jo kuvien oton yhteydessä.

Liikkeestä voidaan siis mitata, jos 3D-laserskanneri mittaa ympäristönsä muutaman sekunnin sisällä. Muutaman sekunnin aikana tapahtuva muutos paikassa ja asennossa voidaan vielä mitata riittävällä tarkkuudella, jotta liikkeestä mitattu 3D-kuva olisi tarpeeksi vääristymätön ja siten yhdistettävissä muihin samalla tavalla mitattuihin kuviin. Näin nopeaan ympäristön 3D-mallinnukseen eivät nykyiset kaupalliset laser-skannerit vielä pysty.

Kun mittaustarkkuudesta karsitaan tarpeeksi paljon ja mittapisteitä ympäristöstä kerätään vain harvakseltaan, voidaan koko ympäristöstä saada yksi 3D-kuva tarpeeksi nopeasti. Tällainen 3D-mittalaite on rakennettu Autonomisten järjestelmien ryhmässä TKK:lla yhdistämällä kaksi 2D-laserskanneria toisiinsa pyörivälle alustalle. Tällöin skannereita nopeasti pyörittämällä saadaan yhden täyden kierroksen mittapisteitä ympäristöstä riittävän nopeasti, mutta varsin vähän ja epätarkasti.

Harvasta ja epätarkastakin mittauspistejoukosta voidaan kuitenkin jo laskea jonkinlainen malli ympäristöstä, kun pieniä, tarkkaa mittaustarkkuutta vaativia, kohteita ei tarvitse löytää. Ympäristön ollessa esimerkiksi metsää ja kartoitettavien ja mitattavien kohteiden ollessa puita, voidaan jo epätarkastakin ympäristön 3D-kuvasta tunnistaa puita. Tällainen liikkeestä mitattu metsäkarta on toteutettu laboratoriossa rakennetun 3D-skannerin avulla.

2D- ja 3D-karttaa voidaan myös tehdä useammalla eri tavalla. Kartoitusta voidaan tehdä joko yhdistämällä useamman skannauksen mittauspisteet isoksi pistejoukoksi, josta halutut kohteet voidaan tunnistaa jälkikäteen, tai tunnistus voidaan tehdä jokaisesta tai vain muutamasta perättäisestä skannauksesta, jolloin karttaan voidaan merkitä suoraan tunnistetut kohteet.

Toinen mahdollinen tapa kartoittaa ympäristöä on tunnistaa yksittäisistä tai muutamasta perättäisestä skannauksesta halutut kohteet ja sovittaa ne karttaan. Tällainen kartoitus on toteutettu laboratorion diplomityössä, jossa 3D-skannerin mittaukset on kerätty lyhyeltä ajalta samalla tapahtunutta liikettä laskennallisesti kompensoiden. Näin saadusta 3D-kuvasta on etsitty pystysuorat tolppamaiset puun rungot, jotka on mitattu kymmeneltä eri korkeudelta. Nämä eri korkeuksilta mitatut puut on merkitty samaan karttaan aikai-

sempien mittausten kanssa. Näin syntyneitä karttaa voidaan käyttää suoraan puiden paikan ja koon tarkahkoon selvittämiseen. Kartasta saadaan myös suoraan metsälohkon tilastolliset ominaisuudet, kuten puiden paksuus ja määrä pinta-alaa kohden.

Reaaliaikaisessa järjestelmässä laserin mittausdataa saadaan usein yli 20 Hz:n taajuudella. Näin ollen sekunnin aikana on mahdollista hyödyntää mittausdataa, joka hitaasti liikkuvan ajoneuvon tapauksessa on mitattu hyvin pienin välimatkoin. Tämän avulla voidaan arvioida myös ajoneuvon liikku-
maa matkaa sekä asennon muutosta.

On myös mahdollista käyttää peräkkäisten mittausten dataa kokonaisuudessaan pelkkien puumallien sijasta. Tämän peräkkäisten mittausten korrelaation käytön etu on siinä, että kaikkea laserdataa voidaan käyttää hyödyksi, jolloin peräkkäisten mittausten erot pystytään laskemaan tarkemmin. Koko mittausdatan käsittely on laskennallisesti pelkkien löydettyjen ympäristön kohteiden käsittelyä raskaampaa, mutta sitä voidaan jonkin verran helpottaa käyttämällä muiden sensoreiden dataa apuna. Tällaisia hyödyllisiä sensoreita ovat mm. odometriasensorit, inklinometrit, gyrot sekä GPS-laitteet.

Jos GPS-mittalaitteen antama koordinaatti on tallennettu ja paritettu kuhunkin karttaan tallennetun kuljetun reittipisteen kanssa, voidaan aikaisempaa GPS-mittaustietoa sovittaa pisteittäin kuljettuun reittiin. Tällöin pitkällä aikavälillä voidaan satelliittipaikannuksen mittauksia keskiarvoistaa SLAM-kartan suhteen ja vähentää nollakeskiarvoinen kohina osittain pois GPS-mittauksista. Lisäksi menetelmällä voidaan laskea globaalin paikan estimaatti myös muille SLAM-kartan paikoille ja tuleville sijainneille vaikka GPS-laitteelta ei saataisikaan mittausdataa. Tällöin myös täysin virheelliset mittaukset voidaan suodattaa helpommin pois GPS-anturin antamasta sijainnista.

Mikrometritutkat

Taajuusvälillä 18-300 GHz toimivia tutkia kutsutaan millimetritutkiksi, sillä niiden aallonpituus sijoittuu aalto-opin perusyhtälön mukaan välille 1-20 mm.

Tässä käsitellään mikroaaltotutkia keskittyen ainoastaan ajoneuvotutkien tekniikoihin ja käytännön sovelluksiin. Tällä hetkellä ajoneuvotutkat ovat vielä verrattain kalliita, eivätkä ne ole vakiovarusteita kuin arvokkaammissa autoissa ja raskaan liikenteen ajoneuvoissa, mutta järjestelmien hinnat ovat jo romahtaneet verrattuna ensimmäisiin kaupallisiin sovelluksiin ja niitä saa jo lisävarusteena ylemmän keskiluokan henkilöautoihin.

Suurin osa radiotekniikkaan perustuvista ajoneuvotutkista on Doppler-pulssitutkia, koska näillä saadaan samalla mittauksella selville sekä etäisyys kohteeseen että kohteen nopeus suhteessa mittaavaan laitteeseen. Doppler-pulssitutka lähettää kohteeseen sopivalla taajuudella tutkapulsseja, mitattavan kohteen etäisyys saadaan selville lentoaikamittauksella eli laskemalla pulssin edestakaiseen matkaan kuluva aika ja jakamalla se valonnopeudella.

LIITE 3

7 (9)

Nopeusmittaus taas perustuu nimensä mukaisesti Doppler-ilmiöön. Jos kohde lähestyy tutkaa, tutkakaiun pulssien taajuus kasvaa ja jos kohde etääntyy tutkasta, pulssien taajuus pienenee.

Doppler-pulssitutkat vaativat myös kalliiden komponenttien käyttöä, sillä pulssin lentoaika on näillä etäisyyksillä pikosekuntiluokkaa.

Taajuusmoduloidussa jatkuva-aaltoisessa FMCW tutkassa signaalin taajuutta moduloidaan lineaarisella kolmioaalto-signaalilla ja sitten heijastunutta signaalia verrataan lähetettyyn signaaliin. FMCW tutkat ovat vielä verrattain harvinaisia, ja niiden suurimpina etuina voisi mainita alhaisen lähetystehon ja kyvyn mitata pieniäkin etäisyyksiä tarkasti. FMCW-tutka on periaatteessa yksinkertaisempi toteuttaa kuin Doppler-pulssitutka, mutta tällä hetkellä suurin osa valmistajista ei vielä ole tuonut FMCW-ajoneuvotutkia myyntiin.

Tiivistettynä Metsänhoidon sovellutukset

Autonomisessa ja puoliautomaattisessa koneellisessa metsänhoidossa tarvitaan prosessointipään tai keräilykoura paikka ja orientaatio eli pose alustakoneeseen nähden. Tämä pose saadaan perinteisesti eri vapausasteiden toimitaitteiden paikka ja kiertokulmamittauksista, mutta se voidaan määrittää myös konenäköä ja/tai laserskannereilla suoraan toimipäätä havainnoimalla. Toimipää pitää paikantaa myös esimerkiksi suhteessa käsiteltäviin puuntaimien tai puihin erilaisia laserskannereita ja konenäköä käyttäen. Prosessoivan laitteen paikka ja orientaatio tarvitaan, jotta prosessoivan laitteen liikkeitä kyettäisiin ohjaamaan tarkoituksenmukaisesti prosessoivaan osaan tai nosturin päähän kiinnitettyjen aistimien antaman lokaalin etäisyystiedon perusteella.

Koneen ja prosessoivan laitteen paikantaminen ja kasvatettavien puiden tunnistaminen ei voi perustua pelkästään satelliittipaikannukseen, tarvitaan muuta aistimista ja suhteellista lokaalia karttaa, jossa ja jolla toiminnan kohteet eli erikokoiset kasvatettavat taimet ja puut tunnistetaan ja paikannetaan.

Istutus

- Taimen yksilöinti paikan perusteella (DGPS tai RTK GPS) ja alustava SLAM-kartta, johon merkitään mahdolliset siemenpuut sekä metsään pystyyn jätetyt puut

Varhaisperkaus

- Operaattorin tilanteenhahmottamista ja manuaalista liikkeen ohjausta tukeva järjestelmä, joka näyttää kuljettajalle kuvaa reikäperkauslaitteen päästä ja kertoo etäisyyden lähimpiin kohteisiin (istutetut taimet, maa, esteet jne.). Liittämällä perkauslaitteeseen kamera kuljettaja voi nähdä taimen ja suunnata perkauslaite tarkemmin taimen päälle. Edelleen, jos taimi kyetään tunnistamaan konenäön menetelmän kamerakuvasta, on suuntaaminen kuljettajalle vielä helpompaa.

- Reikäperkauslaitteen puoliautomaattinen ohjaus konenäöllä ja lasermittalaitteella
- Avustettu toiminta perkauslaitteen kuljettajalle, jossa kuljettaja voi valita parhaan taimen säästettäväksi.
- Istutetut taimet tunnistetaan karttaan istutushetkellä tehdyn paikka-merkinnän perusteella ja muut kuin istutetut taimet konenäön avulla.
- Mahdollista on istutuksessa luodun puukartan päivittäminen sensori-järjestelmän tunnistamien taimien avulla (päivitetystä puukartasta voidaan esimerkiksi laskea kuolleiden istutettujen taimien määrä ja istuttamattomien taimien osuus metsään jätettävistä taimista).

Varttuneen taimikon perkaus ja harvennus

- Perkauksen tavoitteena on poistaa kasvua haittaava puusto ja harven-taa tarvittaessa liian tiheitä kasvutuppaita.
- Säilytettävät taimet pitää tunnistaa ja paikantaa konenäkö- ja laserskanneritekniikoilla, mahdollisesti harventaa sen jälkeen kun on tehty päätös säilytettävistä puista. Haittaavat lehtipuut pitää tunnistaa ja poistaa. Lehtipuusto voi peittää taimet lähes kokonaan.
- Mahdollista tehdä metsän automaattinen tarkkailurobotti, joka kulkee itse tai avustettuna metsässä ja päivittää jo tehdyn metsäkartan. Samalla mahdolliset vaurioituneet taimet havainnoidaan, esimerkiksi hirvituhot mäntytaimikossa.
- Toimenpiteitä aistintekniikkaa hyödyntäen:
 - Peittävä ja haittaava lehtipuusto poistetaan, etenkin männyt voivat tukehtua lehtipuustoon. Vaikea tehtävä, koska vapautettavat puut voivat olla lähes kokonaan lehtipuiden peitossa.
 - Taimet ja poistettava puusto on taimikonhoidossa niin koo-kasta, että ainoa vaihtoehto on katkaista poistettavat puut ja hoitaa ne hallitusti maahan. Hallitusti maahan hoitaminen tarkoittaa sitä, että muutaman metrinkin mittaiset lehtipuu-rungot on saatava maahan siten että ne eivät jää painamaa jäljelle jätettäviä taimia.
- Kone voisi paikantaa itsensä aistinjärjestelmänsä avulla puihin näh-den hyödyntäen istutuksessa ja varhaisperkauksessa muodostettua puukarttaa, niittäisi poistettavan alakasvuston systemaattisesti aja-malla, niputtaisi niittämänsä alakasvustopuut ja asettaisi nipun halli-tusti maahan.
- Manuaalinen operointi on vaikeaa, koska kuljettaja ei näe omin sil-min kunnolla ajourasta etäämpänä olevia taimia. Tarvitaan ainakin ylös puomiin sijoitettu kamerajärjestelmä, jolla kuljettaja näkisi ti-lanteen.
- Konenäkö, laserskanneri ja etäisyyskameratekniikalla sekä signaa-linkäsittelyalgoritmit auttavat puiden taimien ja muun puuston

tunnistamisessa yläviistosta (tai vastaavasti mahdollisen pienemmän laitteen tapauksessa alaviistosta) mitatuista, koneaistimien antamista signaaleista.

- On tarve kehittää päätöksentekoa algoritmeja joilla tunnistetuista nuorista puista valittaisiin, mahdollisesti istutuksessa tai reikäperkauksessa tallennettua paikkatietoa hyödyntäen, säilytettävät puut. Poistettavat puut raivattaisiin puoliautomaattisessa ohjausskenaariossa seuraavasti. Ohjausjärjestelmä generoisi raivauspäälle liiketrajektorit tunnistettujen puiden, maastopinnan ja siitä laskettujen esteiden estimaattien perusteella.
- Jätettävien välipuiden puulaji tunnistetaan ja paikka tallennetaan.

Integroitu aines- ja energiapuun korjuu

- Ensiharvennuksessa puiden tunnistaminen voi olla vaikeata. Tunnistamista helpottaa edeltävissä metsänhoitotöissä luotu etukäteistieto, puukartta eli paikkatieto kasvatettavista puista. Koska ensiharvennuksessa puusto on jo pitkää ja metsä tiheää, ei GPS-paikannuksen tarkkuus ole yhtä hyvä kuin aikaisemmin. Tällöin aiemman puupaikkatiedon käyttö ennakkotietona puiden tunnistamiseen ei ole täysin yksikäsitteistä, mutta mahdollista.
- SLAM -algoritmeilla puukartan luonti hakatun puuston suunnassa laserskannerien ja konenäön perusteella on mahdollista (haasteellista hakkaamattoman puuston suuntaan, eritoten kuusimetsissä)
- Operaattorin tilanteenhahmottamista ja manuaalista liikkeen ohjausta tukisi hakkuupäähän asennettu laserskannerin ja kameroiden yhdistelmä (mahdollisesti mikrometritutka), joka näyttäisi hakkuupään etäisyydet lähimpiin puihin. Lasersignaalia pitää prosessoida siten, että puut tunnistetaan ja näytetään käyttöliittymässä alkuperäisten etäisyyksimittausten kanssa. Jolloin silloinkin kun automaattinen tunnistusalgoritmi ei toimi aina, esimerkiksi nuoren kuusikon yhteydessä, jossa on paljon alaoksia, operaattori mahdollisesti pysyisi hahmottamaan näytöltä jotain hyödyllistä tilanteen hallitsemisen kannalta
- Automaattinen tai puoliautomaattinen perkauskone, joka katkoo kuljettajan merkitsemät kaadettavat puut. Kaadettu energiapuu voidaan automaattisesti koneella sijoittaa kourakasoihin, jotka kuljettaja on merkinnyt kartalle.
- Kourakasoina olevat puut voidaan kerätä automaattisesti tai puoliautomaattisesti jatkokäsiteltäväksi, kun metsäkartta sekä sallitut kulkureitit ovat metsäkoneen jäljiltä tiedossa.
- Jätettävien välipuiden puulaji tunnistetaan ja paikka tallennetaan.
- Työn dokumentointi laskutuksen pohjaksi ja tulevia metsänhoitotoimenpiteitä varten

TOIMIJAKARTOITUS**Koneellisen metsänhoidon kehittäjiä ja tuottajia****Tutkimus ja kehitys**

Helsingin yliopisto, maatalous-metsätiet. tdk
Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tdk
Metsähallitus: metsätalouden kehitystoiminto
Metsäntutkimuslaitos

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio
Metsäteho Oy
Skogforsk
TKK Automaatio- ja systeemitekniikan laitos
Työtehoseura

Kehitys ja valmistus

Bracke Forest Ab
MenSe Oy
MHG Systems Oy
M-Planter Oy
Pentin Paja Oy
Ponsse Oyj
Risutekniikka Ky
Oy Silvadata Ab

Asiantuntemusalue

Metsäekologia, metsän kasvatusta, metsäteknologia
Metsäekologia, metsänhoito, metsänhoidon teknologia
Metsänhoidon menetelmät ja teknologia
Metsänhoidon teknologia, siemen- ja taimituotanto,
metsänkasvatuksen perusteet
Metsänhoitosuositukset
Metsänhoitotöiden kustannustehokkuus ja koneellistaminen
Metsänhoidon teknologia
Paikannus-, mittaus- ja aistintekniikat
Omatoiminen metsänhoito, metsänhoidon pienteknologia

Asiantuntemusalue

Metsänhoitolaiteiden valmistus
Metsänhoitolaiteiden valmistus
Toiminnanohjausjärjestelmät
Metsänhoitolaiteiden valmistus
Metsänhoitolaiteiden valmistus
Metsäkonevalmistus
Metsänhoitolaiteiden valmistus
Metsätalouden tietojärjestelmät

LIITE 4

2 (2)

Ohjelman sisältöön ovat ideoillaan ja kommenteillaan vaikuttaneet mm. seuraavat henkilöt

Timo Räikkönen	Bracke Forest Ab
Taneli Kolström	Joensuun yliopisto
Jari Myller	Koneurakointi Jari Myller
Simo Jaakkola	Koneyrittäjien liitto
Ville Manner	Koneyrittäjien liitto
Marja Hilska-Aaltonen	Maa- ja metsätalousministeriö
Seppo Mentula	MenSe Oy
Timo Impiö	Metsähallitus
Timo Kemppainen	Metsähallitus
Nuutti Kiljunen	Metsähallitus
Tarmo Myllymäki	Metsähallitus
Markku Vainio	Metsähallitus
Pauli Wallenius	Metsähallitus
Tuomo Vehmas	Metsähallitus
Olli Väihkönen	Metsähallitus
Timo Tolppa	Metsäkonepalvelu Oy
Kari Mustonen	Metsämannut Oy
Teppo Oijala	Metsämannut Oy
Janne Soimasuo	Metsämannut Oy
Antero Lehti	Metsänhoitoyhdistys Päijät-Häme
Juho Rantala	Metsäntutkimuslaitos
Arto Koistinen	Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio
Asko Poikela	Metsäteho Oy
Seppo Huurinainen	MHG Systems Oy
Antti Meriläinen	M-Planter Oy
Juha Mäntylä	Mäntylä Forest
Mikko Häikiö	Pentin Paja Oy
Hannu Airavaara	Ponsse Oyj
Juha Inberg	Ponsse Oyj
Jan Kauhanen	Ponsse Oyj
Juho Nummela	Ponsse Oyj
Antti Räsänen	Ponsse Oyj
Einari Vidgrén	Ponsse Oyj
Jarmo Vidgrén	Ponsse Oyj
Jussi Aikala	Risutekniikka Ky
Sauli Hartikainen	Oy Silvadata Ab
Reijo Mykkänen	Oy Silvadata Ab
Yrjö Pohjola	Oy Silvadata Ab
Jukka Tepsell	Oy Silvadata Ab
Jouni Puranen	Silvesta Oy
Arto Visala	Teknillinen korkeakoulu
Sakari Kananen	Tornator Oy
Karri Oksman	Tornator Oy
Antero Pasanen	Tornator Oy
Kari Kuru	UPM Metsä
Jyri Schildt	UPM Metsä
Kari Kannisto	Yksityismetsätalouden työnantajat ry.

VISIOTA TUKEVA TUTKIMUS- JA KEHITYSTOIMINTA

T&K-tehtävä	Aiheeseen liittyvä käynnissä oleva T&K-työ ja vastuorganisaatio
<p>1. Nykyisten koneiden kehittäminen ja käytön laajentaminen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nykyisten koneiden evaluointi ja kehittämismahdollisuuksien arviointi - Konetyön parhaiden käytäntöjen kartoitus, koulutusmateriaalin koostaminen ja kurssitoiminnan kehittäminen - Koneellisen metsänhoitotyön liiketoimintamallien kehittäminen - Alueelliset pilottihankkeet koneiden käytön laajentamiseksi - Taimituotannon ja koneellisen istutuksen yhteensopivuuden kehittäminen 	<p>Metsänhoidon kustannustehokkuuden ja laadun tutkimus- ja kehittämisohjelma (MKL), METLA</p> <ul style="list-style-type: none"> - M-Planterin ja Naarva kitkevän perkaajan käytännön työn tuottavuuden ja työjäljen laadun seurantatutkimukset sekä konetyön organisoiminnan kehittäminen. <p>Metsänuudistamisen laatuketju siemenhuollosta taimikon varhaishoitoon, METLA</p>
<p>2. Koneellistamisen puuntuotannollisten reunaehtojen tarkistaminen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eri käsittelyvaihtoehtojen puuntuotannollisen merkityksen tarkastelu - Lehtipuiden juurineen noston ("kitkemisen") merkitys kasvatuksetjussa - Eri muokkausvaihtoehtojen ja kannon noston vaikutus taimikonhoitotarpeeseen - Biologiset ja kemialliset keinot vesakon torjunnassa 	<p>Kitkettyjen taimikoiden uudelleen vesomisen seuranta, JoY</p> <p>Metsäbiomassan korjuu taimikon käsittelyyn ja kehitykseen vaikuttavana tekijänä, METLA</p> <p>Purppuranahakka vesakon torjunnassa, METLA</p>
<p>3. Uusien kone- ja laiteratkaisujen rakentamisen edistäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Automaation ja uuden teknologian mahdollisuuksien tutkiminen - Kone- ja laitekehitystarpeiden viestintä ja ideoinnin aktivointi (kampanja) - Prototyypin koneiden rakentamisen tuki - Uusien koneiden tuottavuus-, kustannus- ja työjälkitarkastelut - Selvitys eri alustakonetyyppien kustannuskilpailuvyvästä ja toimintaedellytyksistä metsämaastossa - Eri työläjien yhdistämisen edellytysten tarkastelu 	<p>NeoSilvix-hanke, TKK ja METLA</p>
<p>4. Metsänhoitotöiden tietojärjestelmien kehittäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Työn omavalvontaa ja raportointia sekä kasvatuksetjun hallintaa tukevien järjestelmien määrittely - Standardisointi sekä rajapintojen ja yhteensopivuusvaatimusten määrittely alan muihin tietojärjestelmiin nähden - Sovellusten rakentaminen 	<p>Mh-töiden omavalvonta ja siihen liittyvä tiedonkeruu ja analysointi, METLAN MKL-ohjelma.</p>